

541100

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局(43) 国際公開日  
2004 年 7 月 15 日 (15.07.2004)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2004/059668 A1(51) 国際特許分類<sup>7</sup>: H01F 10/16, 10/13, 17/04, 17/00

(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/016458

(22) 国際出願日: 2003 年 12 月 22 日 (22.12.2003)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:  
特願 2002-377797  
2002 年 12 月 26 日 (26.12.2002) JP(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): TDK  
株式会社 (TDK CORPORATION) [JP/JP]; 〒103-8272  
東京都中央区日本橋一丁目 13 番 1 号 Tokyo (JP).

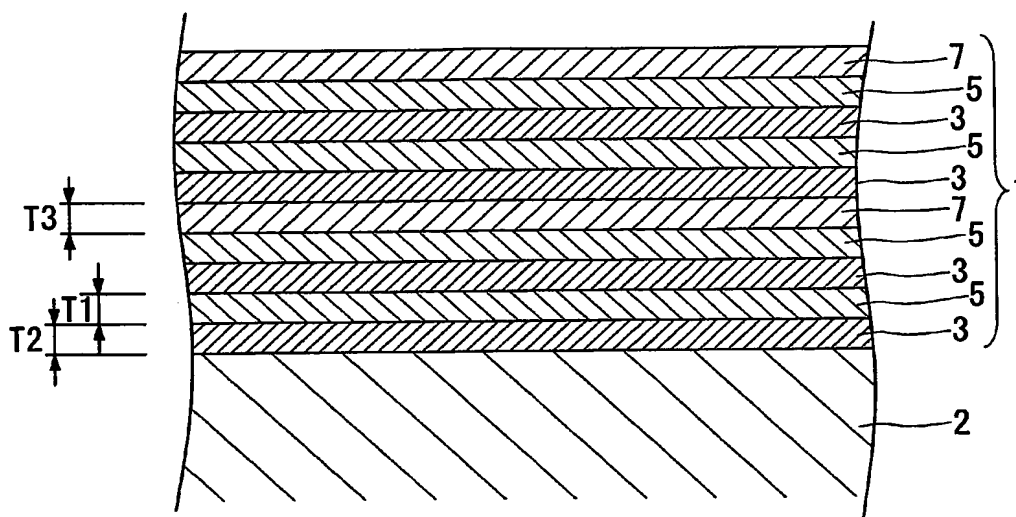
(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 崔 京九  
(CHOI, Kyung-Ku) [KR/JP]; 〒103-8272 東京都中央区日本橋一丁目 13 番 1 号 TDK 株式会社内 Tokyo  
(JP). 村瀬 琢 (MURASE, Taku) [JP/JP]; 〒103-8272 東  
京都中央区日本橋一丁目 13 番 1 号 TDK 株式会  
社内 Tokyo (JP).(74) 代理人: 大場 充 (OBA, Mitsuru); 〒101-0032 東京都千  
代田区岩本町 1 丁目 4 番 3 号 KMビル 8 階 大場国  
際特許事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (国内): CN, KR, US.

(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY,  
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC,  
NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).添付公開書類:  
— 国際調査報告書2 文字コード及び他の略語については、定期発行される  
各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語  
のガイダンスノート」を参照。(54) Title: MAGNETIC THIN FILM OR COMPOSITE MAGNETIC THIN FILM FOR HIGH FREQUENCY AND MAGNETIC  
DEVICE INCLUDING THE SAME

(54) 発明の名称: 高周波用磁性薄膜、複合磁性薄膜およびそれを用いた磁気素子



(57) Abstract: Magnetic thin film for high frequencies (1) simultaneously exhibiting high magnetic permeability and high saturation magnetization can be obtained by a combination of T-L composition layers (5) constituted of T-L (in which T is Fe or FeCo, and L is at least one element selected from among C, B and N) composition with Co base amorphous alloy layers (3) disposed on either major surface of the T-L composition layers (5). Further, magnetic thin film for high frequencies (1) not only simultaneously exhibiting high magnetic permeability and high saturation magnetization but also having high specific resistance can be obtained by disposing, in addition to the T-L composition layers (5) and Co base amorphous alloy layers (3), high resistance layers (7) whose electrical resistance is higher than those of the T-L composition layers (5) and Co base amorphous alloy layers (3).

[続葉有]

WO 2004/059668 A1



---

(57) 要約: T-L組成物(ただし、 $T = \text{Fe}$ または $\text{FeCo}$ 、 $L = \text{C}$ 、BおよびNから選択される少なくとも1種の元素)からなるT-L組成物層5と、このT-L組成物層5のいずれかの面側に配置されたCo系非結晶質合金層3とを組み合わせることにより、高い透磁率および高い飽和磁化を兼備する高周波用磁性薄膜1が得られる。そして、T-L組成物層5およびCo系非結晶質合金層3に加えて、T-L組成物層5およびCo系非結晶質合金層3よりも高い電気抵抗を示す高抵抗層7をさらに備えることで、高い透磁率および高い飽和磁化を兼備するとともに、高い比抵抗を示す高周波用磁性薄膜1が得られるようにした。

## 明 細 書

## 高周波用磁性薄膜、複合磁性薄膜およびそれを用いた磁気素子

## 5 技術分野

本発明は、ギガ・ヘルツ（GHz）の高周波帯域で好適に用いられる磁性薄膜およびこれを用いた磁気素子に関する。

## 背景技術

- 10 磁気素子の小型化、高性能化に伴い、高い飽和磁化を有し、かつギガ・ヘルツ帯（以下、GHz帯という）の高周波帯域における透磁率が高い磁性薄膜材料が求められている。

例えば、ワイヤレス送受信装置や携帯情報端末を中心に需要が高まっているモノリシックマイクロ波集積回路（MMIC）は、Si、GaAs、InPなどの半導体基板上に、トランジスタなどの能動素子と、線路、抵抗、キャパシタ、インダクタなどの受動素子とを、一括的かつ一体的に作製して構成される高周波集積回路である。

- 15 このようなMMICにおいては、受動素子、特にインダクタやキャパシタが能動素子に比べ、大きな面積を占めている。このような受動素子の大面积の占有は、結果として、高価な半導体基板の大量消費、すなわちMMICのコストアップにつながる。従って、チップ面積を縮小しMMICの製造コストを低減するために、受動素子が占める面積を縮小することが課題となっている。

25 MMICのインダクタとしては平面型のスパイラルコイルが多く用いられている。そのスパイラルコイルの上下面、或いは片面に軟磁性薄膜を挿入し、インダクタンスを増加させる方法（換言すれば、小さな占有面積でも従来のインダクタンスが得られる方法）がすでに提案されている（例えば、J. Appl. Phys. 85, 7919（1999））。

しかしながら、磁性材料をMMICのインダクタへ応用するためには、先ず、GHz帯における透磁率が高く、かつ損失が少ない薄膜磁性材料が求められる。さらには渦電流損失を減ずるために、薄膜磁性材料には比抵抗が大きいことも求められている。

- 5 従来、高い飽和磁化を持つ磁性材料としてFeあるいはFeCoを主成分とする合金がよく知られている。ところが、Fe系またはFeCo系合金からなる磁性薄膜をスパッタなどの成膜技術により作製すると、その膜の飽和磁化は高いものの、保磁力が大きく、また、比抵抗が小さくなってしまい良好な高周波特性を得ることは困難であった。
- 10 一方で、軟磁気特性が優れている材料として、Co系非結晶質合金が知られている。このCo系非結晶質合金は、Coを主成分としY, Ti, Zr, Hf, Nb, Taなどから選択される少なくとも1種の元素を含む非結晶質を主体とするものである。ところがゼロ磁歪組成のCo系非結晶質合金の磁性薄膜をスパッタなどの成膜技術により作製すると、その膜の透磁率は大いものの、飽
- 15 和磁化が11kG(1.1T)程度であり、Fe系に比べて小さい。さらに、100MHz程度の周波数およびこれを超えてから損失成分(透磁率の虚数部 $\mu''$ )が大きくなり、性能指数Q値が1以下となり、GHz帯で使用する磁性材料としては好適とは言えない。

- このような適用困難な材料を用いてGHz帯のインダクタを実現させるために、磁性薄膜をマイクロワイヤ化させ、形状異方性エネルギーを増大させることにより、共鳴周波数を高周波側に移行させる試みもなされている(例えば、日本応用磁気学会誌、24, 879(2000))。しかしながら、この方法では工程が複雑となってしまうとともに、磁性薄膜の実効透磁率が低下してしまうという問題がある。

- 25 このような実情のもとに、軟磁性層と高飽和磁化層を交互に積層した多層膜による高飽和磁化薄膜についての検討が行われている。すなわち、CoZr/Fe(日本応用磁気学会誌、16, 285(1992))、FeBN/FeN(特開平5-101930号公報)、FeCrB/Fe(J. Appl. Phy

- 3 -

s. 67, 5131 (1990)), Fe-Hf-C/Fe (日本応用磁気学会誌、15, 403 (1991)) など様々な組み合わせの例が報告されている。これらのものはいずれも飽和磁化を高くすることには効果がある。しかしながら、いずれも高周波帯域での透磁率が大きくなり、GHz 帯への応用は期待できない。しかも、比抵抗が  $100 \mu\Omega\text{cm}$  以下と不十分なために、表皮効果による高周波損失が大きくなってしまい、高周波用インダクタへの適用が困難である。

このような実状のもとに本発明は創案されたものであり、その目的は、GHz 帯で高い透磁率を有し、かつ高い飽和磁化を有するとともに、高い比抵抗を備えた高周波用磁性薄膜を提供することにある。また、本発明は、そのような磁性薄膜を用いた磁気素子を提供することを目的とする。

#### 発明の開示

GHz 帯で高い透磁率を有し、かつ高い飽和磁化を有するとともに、高い比抵抗を備えた高周波用磁性薄膜を得るために、本発明者は様々な検討を行った。その結果、T-L 組成物（ただし、T=Fe または FeCo、L=C, B および N から選択される少なくとも 1 種の元素）からなる第 1 の層と、この第 1 の層のいずれかの面側に配置された Co 系非結晶質合金からなる第 2 の層とを組み合わせることにより、高い透磁率および高い飽和磁化を兼備する高周波用磁性薄膜が得られることを知見した。そして、第 1 の層および第 2 の層に加えて、第 1 の層および第 2 の層よりも高い電気抵抗を示す第 3 の層をさらに備えることで、高い透磁率および高い飽和磁化を兼備するとともに、高い比抵抗を示す高周波用磁性薄膜が得られることを知見した。すなわち、本発明は、T-L 組成物（ただし、T=Fe または FeCo、L=C, B および N から選択される少なくとも 1 種の元素）からなる第 1 の層と、第 1 の層のいずれかの面側に配置された Co 系非結晶質合金からなる第 2 の層と、第 1 の層または第 2 の層のいずれかの側に配置され、第 1 の層および第 2 の層よりも高い電気抵抗を示す第 3 の層と、を含み、複数の第 1 の層と複数の第 2 の層と複数の第 3 の層とが

積層されて多層膜構造をなすことを特徴とする高周波用磁性薄膜を提供する。

なお、T-L組成物（ただし、T=FeまたはFeCo、L=C、BおよびNから選択される少なくとも1種の元素）およびCo系非結晶質合金を用いることが好ましい理由は、後述の実施の形態で詳述する。

- 5      以上の構成を備えた本発明の高周波用磁性薄膜において、第3の層は、主に表皮効果による高周波損失を低減するために寄与する。表皮効果による高周波損失を効果的に抑制するには、第1の層および第2の層の積層が所定の数だけ繰り返される毎に、第3の層が配置されることが望ましい。ここで、所定の数
- 10    場合は、第1の層および第2の層がそれぞれ2層ずつ積層されたときに、第3の層が1層積層されることとなる。

T-L組成物を構成するTとしてはFeCoが望ましい。

TとしてFeCoを選択する場合に、Coの濃度は10～50at%であることが望ましい。

- 15    またT-L組成物を構成するLとしては、Cまたは／およびBが望ましい。

Co系非結晶質合金は、Coを主成分とし、かつM元素（ただし、MはB、C、Si、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Ni、Y、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、Wから選択される少なくとも1種の元素）を含むものが好適である。この場合に、Co系非結晶質合金中のM元素の濃度は10～30at%であるこ

20    とが望ましい。

- 本発明の高周波用磁性薄膜において、第3の層を、グラニューラー構造膜、酸化物膜、窒化物膜および弗化物膜の少なくとも1つで構成することができる。本発明の高周波用磁性薄膜によれば、第1の層と第2の層と第3の層とが積層された状態で、飽和磁化が14kG（1.4T）以上かつ比抵抗が200 $\mu\Omega\text{cm}$
- 25    m以上という優れた特性が得られる。しかも、1GHzにおける複素透磁率の実数部（ $\mu'$ ）を300以上、かつ性能指数Q（ $Q=\mu'/\mu''$ ）を10以上とすることも可能である。なお、本発明において、これら特性は成膜したままの状態を得ることができる。つまり、成膜完了からの経過時間を問わないが、

成膜後に例えば熱処理等の処理を加えていない状態で測定した値によって本発明で規定する特性を具備するか否かの判断を行うことができる。ただし、成膜後に熱処理等の処理を加えた場合であっても、本発明で規定する特性を具備するものが本発明の範囲に含まれることは言うまでもない。これらの事項は以下

5 でも同様である。

上述したように、第1の層をT-L組成物（ただし、 $T = Fe$ または $FeCo$ 、 $L = C$ 、 $B$ および $N$ から選択される少なくとも1種の元素）とし、第2の層を $Co$ 系非結晶質合金とすることにより、高透磁率および高飽和磁化が達成される。そして、本発明者の検討によると、第1の層の膜厚および第2の層の膜厚を制御することが、所望の透磁率および飽和磁化を得る上で極めて有効である。そこで、本発明は、第1の層の厚さを $T_1$ 、第2の層の厚さを $T_2$ とした場合に、 $T_1$ が $0.5 \sim 3.0 \text{ nm}$ の範囲にあり、かつ $T_1/T_2$ を $0.8 \sim 3.0$ の範囲に設定することを推奨する。また、 $T_1$ が $3 \sim 70 \text{ nm}$ の範囲にあるときには、 $T_1/T_2$ を $0.15 \sim 3.50$ の範囲とすることが有効である。

さらに本発明は、 $Fe$ または $FeCo$ を主成分とし、単層膜で飽和磁化が $16 \text{ kG}$  ( $1.6 \text{ T}$ ) 以上の特性を有し、かつアスペクト比が $1.4$ 以下の柱状構造または非結晶質構造からなる第1の層と、 $Co$ を主成分とし、単層膜で透磁率が $1000$ 以上（測定周波数： $10 \text{ MHz}$ ）、飽和磁化が $10 \text{ kG}$  ( $1.0 \text{ T}$ ) 以上、比抵抗が $100 \mu\Omega \text{ cm}$ 以上の特性を有する第2の層と、これら第1の層および第2の層が積層された積層体の表面および／または内部に、第2の層よりも高い電気抵抗を示す第3の層が配置されていることを特徴とする複合磁性薄膜を提供する。ここで、第3の層として磁性体を用いることによって、高い磁気特性と高い電気抵抗を兼備した複合磁性薄膜を得ることができる。磁性体としては、例えばグラニューラー構造のものが好ましい。また、複合磁性薄膜の総厚さは $200 \sim 3000 \text{ nm}$ とすることが望ましい。

第3の層の存在により、高い電気抵抗を得ることが可能となるが、複合磁性薄膜に対する占有率が $40 \text{ vol\%}$ を超えると、第1の層および第2の層の占

める割合が少なくなり、飽和磁化および透磁率の実数部の値が低下する傾向がある。よって、本発明において、第3の層の複合磁性薄膜に対する占有率は40vol%以下、望ましくは3～20vol%とする。

また上述した第1の層を非結晶質構造とすることにより、より高い軟磁気特性を得ることができる。

さらにまた、本発明はGHz帯で好適に用いられるインダクタまたはトランス等の磁気素子を提供する。すなわち、本発明は、高周波用磁性薄膜を有する磁気素子であって、高周波用磁性薄膜が、T-L組成物（ただし、T=FeまたはFeCo、L=C、BおよびNから選択される少なくとも1種の元素）からなる第1の層と、第1の層のいずれかの面側に配置されたCo系非結晶質合金からなる第2の層と、第1の層または第2の層のいずれかの側に配置され、第1の層および第2の層よりも高い電気抵抗を示す第3の層と、を含み、複数の第1の層と複数の第2の層と複数の第3の層とが積層されて多層膜構造をなすことを特徴とする磁気素子を提供する。

ここで、第3の層が、グラニューラ構造膜から構成されていることが、好ましい。

またT-L組成物層中に含有されるL元素の濃度は2～20at%であることが望ましい。

本発明の磁気素子としては、インダクタ、トランス等、より具体的には、コイルを挟持するように対向配置された高周波用磁性薄膜を有する磁気素子、モノリシックマイクロ波集積回路に用いられるインダクタ等が挙げられる。

#### 図面の簡単な説明

第1図は本実施の形態の高周波用磁性薄膜の断面図、第2図は厚さT1が3nm以下のFe-C薄膜とCoZrNb非結晶質合金薄膜とを積層した複合磁性薄膜のX線回折結果を示す図、第3図はFe系またはFeCo系薄膜の結晶粒の状態を示す断面模式図、第4図はFe-C薄膜とCo系非結晶質合金薄膜とを積層したときのFe-C薄膜の結晶粒の状態を示す断面模式図、第5図は



第 4 図の部分拡大断面図、第 6 図は第 1 図とは積層周期が異なる、本実施の形態の高周波用磁性薄膜の断面図、第 7 図は本実施の形態の高周波用磁性薄膜が適用されたインダクタの一例を示す平面図、第 8 図は第 7 図の A-A 矢視断面図、第 9 図は本発明の高周波用磁性薄膜が適用されたインダクタの他の例を示す断面図、第 10 図は本実施の形態の高周波用磁性薄膜が適用されたインダクタの他の例を示す平面図、第 11 図は第 10 図の A-A 矢視断面図、第 12 図は実施例 1～8、比較例 1 で得られた複合磁性薄膜の構成を示す図表、第 13 図は実施例 1～8、比較例 1 で得られた複合磁性薄膜の磁気特性、高周波透磁率特性および比抵抗を示す図表、第 14 図は実施例 4 で作製した複合磁性薄膜の断面模式図、第 15 図は実施例 9～15 で得られた複合磁性薄膜の構成、磁気特性、高周波透磁率特性および比抵抗を示す図表、第 16 図は実施例 16～26 で得られた複合磁性薄膜の構成、磁気特性、高周波透磁率特性および比抵抗を示す図表である。

#### 15 発明を実施するための最良の形態

以下、本実施の形態における高周波用磁性薄膜について詳細に説明する。

本実施の形態における高周波用磁性薄膜（複合磁性薄膜）1 は、第 1 図の模式的断面図に示されるように、複数の C o 系非結晶質合金層（第 2 の層）3 と、複数の T-L 組成物層（第 1 の層）5 と、複数の高抵抗層（第 3 の層）7 とが積層された多層膜構造をなす複合磁性薄膜である。第 1 図に示される実施の形態では、C o 系非結晶質合金層 3 が 4 層、T-L 組成物層 5 が 4 層、高抵抗層 7 が 2 層、合計 10 層からなる多層膜構造が例示されている。第 1 図に示すように、T-L 組成物層 5 は、C o 系非結晶質合金層 3 の一方の面側に配置される。また、高抵抗層 7 は、C o 系非結晶質合金層 3 または T-L 組成物層 5 のいずれかの側に配置される。

はじめに、T-L 組成物層 5 について説明する。

T-L 組成物層 5 の T は F e または F e C o であり、L は C, B および N から選択される少なくとも 1 種の元素である。F e または F e C o を主成分とす

る合金からなる薄膜は、高い飽和磁化を示すものの、保磁力が大きくかつ非抵抗が小さくなる傾向にあった。そこで本発明は、軟磁気特性を向上することのできるL（C，BおよびNから選択される少なくとも1種の元素）を含有する。ここで、T-L組成物層5は2つの形態を包含する。第1の形態は、T-L組成物層5のアスペクト比が1.4以下の柱状構造を有する形態である。この第1の形態をなすことより高飽和磁化および優れた軟磁気特性を得ることができる。また第2の形態は非結晶質構造である。T-L組成物層5が非結晶質構造をなすことにより、さらなる軟磁気特性の向上および高電気抵抗が達成できる。高周波特性に効果を見出すためには、T-L組成物層5は、単層膜で飽和磁化が16 kG（1.6 T）以上の特性を有することが望ましい。

なお、T-L組成物層5のアスペクト比が1.4以下の柱状構造を有する形態においても、後述するように薄膜形成初期段階で非結晶質構造が形成されていることから、本願発明における柱状構造とはこの非結晶質構造部分を含む意味と解釈するものとする。

15 T-L組成物層5は膜厚が厚くなり、アスペクト比が1.4を超えて2.0以上になると、垂直磁気異方性が顕著にあらわれ、軟磁気特性が劣化してしまう。本発明においては、T-L組成物層5に存在する全ての結晶粒のアスペクト比が1.4以下であることが最も望ましいが、そのアスペクト比の増加分が30%以下、さらには10%以下の結晶粒を部分的に含有することを許容する。20 したがって、本発明ではT-L組成物層5の厚さ（T1）は100 nm以下、望ましくは70 nm以下とする。ここで、T1が3 nm以下になると、T-L組成物層5は後述するように非結晶質構造になる。性能的には、例えば、T1を0.2 nmまで薄くしても性能の低下は起こらないが、T1が薄くなりすぎると積層回数が増えるため、成膜時間が長くなるという製造上の不具合が生じる。25 従って、T1は、0.5 nm以上、さらには1.0 nm以上とすることが望ましい。

ここで、厚さT1が3 nm以下のFe-C薄膜とCoZrNb非結晶質合金薄膜とを積層した複合磁性薄膜のX線回折結果を第2図に示す。第2図から分

かるように、Fe-C薄膜の厚さが3nm以下の積層膜は、Fe-Cのbcc(110)結晶面の回折ピークは典型的な非結晶質のブロードな形状を示す。

本発明のT-L組成物層5は、その中に含有されるL元素(C, BおよびNから選択される少なくとも1種の元素)濃度が2~20at%、望ましくは4~10at%とされる。L元素濃度が2at%未満であると、bcc構造の柱状結晶が基板に対して垂直方向に成長しやすくなり、保磁力が大きくなる。それに加えて比抵抗が小さくなってしまい、良好な高周波特性を得ることが困難となってしまう。一方、L元素濃度が20at%を超えると、異方性磁界が減少するために共鳴周波数の低下が生じて、高周波用の薄膜として十分に機能することが困難となってしまう。また、TとしてはFeCoを採用することが望ましい。TとしてFeCoを採用することにより、Fe単独の場合よりも高い飽和磁化を得ることができる。このときのCoの含有量は、80at%以下の範囲で適宜定めればよいが、10~50at%、より望ましくは20~50at%の範囲で含有させることが望ましい。また、Fe、FeCo以外に本発明に悪影響を与えない範囲で他の元素を含有させることを本願発明は許容する。

次に、Co系非結晶質合金層3について説明する。

Co系の非結晶質合金は、高透磁率かつ高抵抗(比抵抗が100~150 $\mu\Omega\text{cm}$ )であるという特徴があるため、高周波域での渦電流損失を抑制する上で有効である。このため、本発明では、第1の層であるT-L組成物層5に接する第2の層として、Co系の非結晶質合金を採用する。また、第2の層が非結晶質材料であると、第1の層が柱状構造であっても第2の層によってその成長が分断されるため、連続的な柱状構造にならない。仮に、第2の層として結晶質の材料を用いた場合には、第2の層のいずれかの面に接する第1の層はその結晶の成長が第2の層の結晶構造に影響され連続的な柱状構造になってしまうため、好ましくない。

Co系非結晶質合金層3は、単層膜で透磁率が1000以上(測定周波数: 10MHz)、飽和磁化が10kG(1.0T)以上、比抵抗100 $\mu\Omega\text{cm}$ 以上の特性を有していることが望ましい。

本発明における第2の層としてのCo系非結晶質合金層3は、Coを主成分とし、M元素（ただし、MはB, C, Si, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Y, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta, Wから選択される少なくとも1種の元素）を含んで形成されており、このものは非結晶質相を主体として構成されている。添加元素の割合（2種以上の場合には総和量）は、通常、5～50at%、好ましくは、10～30at%とされる。添加元素の割合が多くなり過ぎると、飽和磁化が小さくなってしまうという不都合が生じ、また、添加元素の割合が少なくなり過ぎると、磁歪の制御が困難となり、有効な軟磁気特性が得られなくなるという不都合が生じる。

Co系非結晶質合金層3を構成する好適な組成系の例としては、CoZr, CoHf, CoNb, CoMo, CoZrNb, CoZrTa, CoFeZr, CoFeNb, CoTiNb, CoZrMo, CoFeB, CoZrNbMo, CoZrMoNi, CoFeZrB, CoFeSiB, CoZrCrMoなどが挙げられる。

次に、上述したT-L組成物層5と、T-L組成物層5のいずれかの面側に配置されたCo系非結晶質合金層3とを組み合わせることにより、高い透磁率および高い飽和磁化を兼備する高周波用磁性薄膜1が得られる理由について述べる。

本発明の高周波用磁性薄膜1は、数100MHz以上の周波数帯域、特に、1GHz以上の高周波帯域で好適に使用される。このような高周波帯域における透磁率（以下、単に「高周波透磁率」と称す）は、試料の様々な物性と複雑に関係する。この透磁率ともっとも関係が密なものとして、異方性磁界と飽和磁化がある。概ね、透磁率と共鳴周波数の積は、異方性磁界の1/2乗および飽和磁化の3/2乗に比例する関係にある。ここで、共鳴周波数は、以下の式

(1) で表される。なお、式(1)中、 $f_r$ は共鳴周波数を表し、 $\gamma$ はジャイロ磁気定数を表し、 $H_k$ は異方性磁界を表し、 $4\pi M_s$ は飽和磁化を表している。

$$f_r = (\gamma / 2\pi) [H_k 4\pi M_s]^{1/2} \quad \cdots \text{式(1)}$$

従って、材料の異方性磁界および飽和磁化を大きくすることで共鳴周波数を上げ、使用限界周波数を上げることが可能となる。従来のC o系非結晶質合金薄膜の代表的な一例であるC o Z r N b非結晶質合金薄膜の共鳴周波数を2 G H zまで向上させるために必要な異方性磁界を上記式(1)を用いて計算して  
5 みる。すると、4 4 0 e (3 5 0 1 A/m)以上の異方性磁界を必要とすることが算出される。この算出結果により、通常、1 5 0 e (1 1 9 3 A/m)程度の異方性磁界しか持たない当該膜を、G H z周波数帯域へ応用することは困難であることが分かる。

ところが、2 G H zの共鳴周波数を実現するために必要とされる異方性磁界  
10 は、飽和磁化が、1 4 k G (1. 4 T)の場合は3 6 0 e (2 8 6 4 A/m)、1 8 k G (1. 8 T)の場合は2 8 0 e (2 2 2 8 A/m)となり、飽和磁化および結晶磁気異方性が大きいF e系合金またはF e C o系合金との組み合わせにより必要な飽和磁化および異方性磁界を実現することが期待できる。

従来より、F eあるいはF e C oを主成分とする合金は高飽和磁化を示す材  
15 料として広く知られていた。しかしながら、F e系またはF e C o系合金の磁性薄膜をスパッタなどの成膜技術により作製すると、飽和磁化は高いものの、保磁力が大きく、また比抵抗が小さくなってしまい良好な高周波特性を得ることが困難であった。その主原因としては、以下のことが考えられていた。すなわち、第3図に示すように、スパッタなどで成膜したF e系またはF e C o系  
20 の薄膜1 0 1は、基板1 0 0の垂直方向に柱状に成長しており、この柱状構造に起因する垂直磁気異方性の発生が問題とされていた。

しかしながら、本発明者らが鋭意研究したところ、F eに所定量のC (炭素)添加したF e - C薄膜において以下のことを知見した。

(1) 所定厚さを有するF e - C薄膜も柱状構造をなすが、厚さが7 0 n m程度  
25 以下であれば、柱状構造のアスペクト比(柱の長さとの比、長さ÷巾)が小さいために優れた軟磁気特性が得られる。具体的には、柱状成長しているF e - Cの平均巾は約5 0 n mであり、柱状構造のアスペクト比が1. 4以下となる厚さ7 0 n m程度までは、柱状構造による軟磁気特性の劣化を抑制できる。

このようなアスペクト比のFe-C薄膜を得るためには、第4図に示すように、Co系非結晶質合金薄膜111をFe-C薄膜112とFe-C薄膜112との間に介在させることが有効である。そうすることによって、Fe-C結晶粒の連続的な柱状構造の成長を阻止することができるからである。

- 5 (2) Fe-C薄膜の成長過程を綿密に調査したところ、厚さ3nm以下程度までの膜成長初期段階においては、結晶粒径が3nm以下の微結晶状態になり、さらに、不安定な表面の割合が多くなるため、非結晶質(アモルファス)の特徴が現れる。つまり、第5図に示すように、Fe-C薄膜121は基板120上に形成された非結晶質構造部分121aと、非結晶質構造部分121a上に形成される柱状構造部分121bとから構成される。非結晶質であることは、X線回折により、Fe-C薄膜の場合にはFe-Cのbcc(110)結晶面の回折ピークが現れないことから判断すればよい。このような非結晶質構造の薄膜は、柱状構造にならないことはもちろん、非結晶質構造に起因する高抵抗(100 $\mu\Omega\text{cm}$ 以上)特性が得られる。したがって、Fe-C薄膜とCo系非結晶質合金薄膜と積層する形態を採択すれば、軟磁気特性はもちろん高抵抗化が実現でき、GHz帯における透磁率が大きいとともに、渦電流損失が抑制され性能指数が大きい磁性薄膜を得ることができる。
- 10
- 15

以上の(1)、(2)の事項は、Fe-C薄膜に限らず、FeCo-C薄膜、さらにはCをBまたはNで置換した場合でも有効である。

- 20 以上の理由から、軟磁気特性に優れているCo系非結晶質合金層3を、高飽和磁化かつ高異方性磁界を持つT-L組成物層5のいずれかの面側に配置することによって、高い透磁率および高い飽和磁化を兼備する高周波用磁性薄膜1が得られる。具体的には、Co系非結晶質合金層3とT-L組成物層5を積層した積層体は、1GHzで透磁率の実数部( $\mu'$ )が200以上で、かつ性能指数Q( $Q = \mu' / \mu''$ )が1以上、飽和磁化が12kG(1.2T)以上の特性を示す。
- 25

続いて、第1図に示したように、Co系非結晶質合金層3とT-L組成物層5を積層した積層体の表面および／または内部に配置される、高抵抗層7について説明する。

本発明において、第3の層として高抵抗層7を設けるのは以下の理由に基づく。まず、比抵抗とインダクタの性能は密接に関連しており、高周波用磁性薄膜1の比抵抗を上げることで表皮効果による影響を低減し、高周波用磁性薄膜1をインダクタに応用した際のインダクタ性能を向上させることができる。

高抵抗層7としては、上述したT-L組成物層5およびCo系非結晶質合金層3よりも電気抵抗が高いものであれば、磁性体、非磁性体のいずれをも用いることができる。具体的には、高抵抗層7は単層膜で比抵抗 $300\mu\Omega\text{cm}$ 以上の特性を有していることが望ましい。

ここで、高抵抗層7を磁性体で構成する場合には、例えばグラニューラ構造膜を用いることができる。高抵抗層7を磁性体で構成することにより、高い飽和磁化を維持しつつ、比抵抗を向上させることができる。そして、比抵抗が向上することによって、高周波域での渦電流損失も抑制される。

一方、高抵抗層7を非磁性体で構成する場合には、例えば酸化物膜、窒化物膜、弗化物膜等を用いることができる。高抵抗層7を非磁性体で構成することにより、より一層高い比抵抗を得ることが可能となる。なお、酸化物膜は、意図的に形成した膜の他に、例えばCo系非結晶質合金層3、T-L組成物層5が酸素と接触することによって自然に形成された酸化物膜であってもよい。以後、このようにして形成された酸化物膜を、自然酸化膜と呼ぶ。

上述したように、比抵抗を向上させるために高抵抗層7を設けることが有効であるが、高周波用磁性薄膜1における高抵抗層7が占める割合が大きくなりすぎると、軟磁気特性が劣化する傾向がある。よって、高抵抗層7が占める割合は、高周波用磁性薄膜1に対する体積比率で $3\sim40\text{vol}\%$ 、望ましくは $3\sim20\text{vol}\%$ 、さらに望ましくは $15\text{vol}\%$ 以下とする。ここで、上述の通り、高抵抗層7は磁性体または非磁性体で構成することができるが、高抵抗層7が非磁性体で構成されている場合には、高抵抗層7が占める割合を、高

周波用磁性薄膜 1 に対する体積比率で 10 vol % 以下とすることが望ましい。軟磁気特性の劣化を防ぐためである。一方、高抵抗層 7 がグラニューラー構造等の磁性体で構成されている場合には、高抵抗層 7 の占める割合が 20 vol % 程度と大きくなっても、軟磁気特性の劣化は生じない。

- 5 高抵抗層 7 をグラニューラー構造とする場合の組成系の例としては、M-X-Z (ここで、MはFe, CoおよびNiから選択される少なくとも1種の元素、XはMg, Ca, Y, Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W, Zn, Al, Siのいずれか、またはそれらの混在物、ZはF, N, Oのいずれか、もしくはそれらの混在物) が挙げられる。なお、MはCまたは/および
- 10 Bを含有していてもよい。高抵抗層 7 をグラニューラー構造とする場合の具体的な組成としては、FeCoAlO, FeAlO, FeCoSiO, FeCoCZrO, FeNiAlO, CoMgF, FeMgF, FeCoCaF, CoAlNなどが挙げられる。

- 高抵抗層 7 を酸化物膜で構成する場合には $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ などの酸化物膜、
- 15 高抵抗層 7 を窒化物膜で構成する場合にはAlN,  $Si_3N_4$ などの窒化物膜、高抵抗層 7 を弗化物膜で構成する場合には $MgF_2$ ,  $CaF_2$ など弗化物膜を採用することができる。

- 本発明では高抵抗層 7 の厚さ (T3) は20 nm以下、望ましくは15 nm以下、さらに望ましくは10 nm以下とする。高周波用磁性薄膜 1 における高
- 20 抵抗層 7 が占める割合が上述の範囲内であれば、高い比抵抗を得ることができるが、その一方で、T3の値が0.5 nm未満となると積層回数が増えるため成膜時間が長くなるという製造上の不都合が生じる。したがって、T3は0.5 nm以上、さらには1.0 nm以上とするのが望ましい。

- 基本的には、所望する特性に応じて高抵抗層 7 の種類を選択するとともに、
- 25 高抵抗層 7 の占める割合、厚さ (T3) を決定すればよい。

以上のT-L組成物層 5、Co系非結晶質合金層 3 および高抵抗層 7 とで高周波用磁性薄膜 1 を構成することで、1 GHzにおける複素透磁率の実数部 ( $\mu'$ ) が400以上で、かつ性能指数Q ( $Q = \mu' / \mu''$ ) が20以上、飽



和磁化が  $14 \text{ kG}$  ( $1.4 \text{ T}$ ) 以上の高周波用磁性薄膜を得ることができる。しかも、このような高い磁気特性を維持した状態で、 $200 \mu\Omega\text{cm}$  という高い比抵抗をも得ることができる。なお、 $\text{GHz}$  領域 ( $1 \text{ GHz}$ ) で透磁率の実数部 ( $\mu'$ ) はできるだけ大きな値をとることが望まれ、特に上限値はない。同様に、飽和磁化についてもできるだけ大きな値をとることが望まれ、特に上限値はない。また、比抵抗についても特に上限値はないが、高抵抗が占める割合が大きくなりすぎると軟磁気特性および高飽和磁化特性を失う観点から、上限を  $1000 \mu\Omega\text{cm}$  以下程度とすることが望ましい。

次に、 $\text{T-L}$  組成物層 5 および  $\text{Co}$  系非結晶質合金層 3 の望ましい厚さについて述べる。 $\text{T-L}$  組成物層 5 の厚さを  $T1$ 、 $\text{Co}$  系非結晶質合金層 3 の厚さを  $T2$  とした場合に、 $T1$  を  $3 \sim 70 \text{ nm}$  の範囲とし、かつ  $T1/T2$  は  $0.15 \sim 3.50$ 、好ましくは  $0.25 \sim 2.50$  とすることが有効である。この値が、 $3.50$  を超えると、 $\text{T-L}$  組成物層 5 の成膜時に柱状構造が現れ、異方性磁界および磁化困難軸方向の保磁力 ( $H_{ch}$ ) が急に増大するなどして垂直磁気異方性が発生する。このため、良好な軟磁性特性を得ることができなくなるという不都合が生じてしまう。また、この値が  $0.15$  未満となると  $14 \text{ kG}$  ( $1.4 \text{ T}$ ) 以上の飽和磁化を得ることができなくなってしまう。よって、 $\text{T-L}$  組成物層 5 の厚さ  $T1$  が  $3 \sim 70 \text{ nm}$  の範囲の場合には、 $T1/T2$  を  $0.15 \sim 3.50$  とすることが好ましい。

また、 $\text{T-L}$  組成物層 5 の厚さを  $T1$ 、 $\text{Co}$  系非結晶質合金層 3 の厚さを  $T2$  とした場合に、 $T1$  を  $0.5 \sim 3.0 \text{ nm}$  の範囲とし、かつ  $T1/T2$  を  $0.8 \sim 3.0$  の範囲にすることも有効である。

$T1/T2$  が、 $3.0$  を超えると、 $\text{FeC}$  の粒子が大きく成長してしまい、高抵抗層 7 の存在を考慮しても  $200 \mu\Omega\text{cm}$  以上の高い比抵抗が得ることが困難となる。また、この値が  $0.8$  未満となると、高飽和磁化である  $\text{T-L}$  組成物層 5 の割合が少なくなってしまう、共鳴周波数を高周波側にすることが困難となってしまう。 $T1/T2$  の好ましい値は  $1.0$  以上  $2.5$  以下である。

上記のT 1、およびT 1 / T 2を本願発明の範囲内とし、かつ高抵抗層7の占める比率を上述した範囲内で制御することによって、比抵抗が $200\ \mu\Omega\text{cm}$ 以上で、かつ1 GHzにおける復素透磁率の実数部( $\mu'$ )が300以上、性能指数( $Q = \mu' / \mu''$ )が10以上、飽和磁化が1.4 kG (1.4 T)以上という極めて優れた特性を有する複合磁性薄膜の実現が可能となる。なお、このような特性の測定は、前述したように、熱処理等を施さない成膜したままの状態で測定される。

本発明の高周波用磁性薄膜 1 において、T-L 組成物層 5、Co 系非結晶質合金層 3 および高抵抗層 7 の合計積層回数に関する制限はないが、通常、5 ～ 3000 回、好ましくは 10 ～ 700 回程度とされる。高周波用磁性薄膜 1 の中で同一種類（T-L 組成物層 5、Co 系非結晶質合金層 3 または高抵抗層 7）の膜は、通常、同じ膜厚となるように形成される。ただし、稀なケースとして、同一種類の膜であっても、積層箇所によって成膜厚さを他の部分と異ならしめることがあり得る。極端な例として、例えば、中間付近の T-L 組成物層 5 の膜厚を 20 nm、上下の T-L 組成物層 5 の 2 層の膜厚をそれぞれ 5 nm とするような仕様も場合によってはあり得る。このような場合、本願における T-L 組成物層 5 の膜厚は算術平均の厚さ ( $T_f$ ) により算出すればよい。上記例では、算術平均値である  $T_f = 10 \text{ nm}$  という数値を採択して、例えば  $T_f / T_c$  ( $T_c$  は Co 系非結晶質合金層 3 の膜厚の算術平均値) を求めるようにすればよい。また、本発明の高周波用磁性薄膜 1 は、Co 系非結晶質合金層 3、T-L 組成物層 5 および高抵抗層 7 以外の層を配設することを許容する。

このような本発明の高周波用磁性薄膜１の厚さは、２００～３０００ｎｍ、好ましくは３００～２０００ｎｍとされる。この値が、２００ｎｍ未満であると、平面型磁気素子に應用する場合、所望のパワーを担うことが困難になるという不都合が生じ得る。また、後述の第１０図および第１１図に示される磁性薄膜を備える有芯コイルの形態としても、空芯コイルに比べてインダクタンスの増加が１０％未満となる傾向が生じ、磁性薄膜の効果が十分發揮できないという不都合が生じる。また、この値が、３０００ｎｍを超えると、表皮効果に

よる高周波損失が顕著になり、GHz帯域の損失が増大するという不都合が生じ得る。

本発明の高周波用磁性薄膜1は、真空薄膜形成方法、特にスパッタ法により形成されることが好ましい。より具体的には、RFスパッタ、DCスパッタ、  
5 マグネトロンスパッタ、イオンビームスパッタ、誘導結合RFプラズマ支援スパッタ、ECRスパッタ、対向ターゲット式スパッタ、多元同時スパッタなどが用いられる。

Co系非結晶質合金層3を形成するためのターゲットとしては、Coターゲット上に、所望の添加元素のペレットを配置した複合ターゲットを用いたり、  
10 所望の添加成分を含有するCo合金のターゲットを用いればよい。

T-L組成物層5を形成するためのターゲットとしては、Fe（またはFeCo合金）ターゲットの上にL元素のペレットを配置した複合ターゲットを用いるか、Fe（またはFeCo）とL元素の合金ターゲットを用いればよい。  
L元素の濃度調整は、例えば、L元素ペレットの量を調整するようにすればよい。  
15 い。

グラニューラー構造の高抵抗層7を形成するためのターゲットとしては、Fe（またはNi, Co, FeCo合金等）ターゲットの上にX元素およびY元素のペレットを配置した複合ターゲットを用いるか、X元素、Y元素およびFe（またはNi, Co, FeCo合金等）の合金ターゲットを用いればよい。

20 なお、スパッタリングはあくまで本発明の一態様であり、他の薄膜作製プロセスを適用できることは言うまでもない。本発明の高周波用磁性薄膜1の具体的な成膜方法については、後述の実施例を参照されたい。

以上、第1図等を用いて、複数のCo系非結晶質合金層3と、複数のT-L組成物層5と、複数の高抵抗層7とが積層された多層膜構造をなす本発明の高周波用磁性薄膜1の構成および特徴を示した。第1図では、Co系非結晶質合金層3とT-L組成物層5がそれぞれ2層ずつ積層された後に、高抵抗層7が  
25 1層配置されるという積層形態（積層周期）を示したが、積層形態はこれに限定されるものではない。つまり、Co系非結晶質合金層3とT-L組成物層5

の積層が所定の数だけ繰り返される毎に、高抵抗層 7 が配置されるようにすればよいのである。ここで、所定の数例えば 1 であれば、第 6 図に示すように、C o 系非結晶質合金層 3、T-L 組成物層 5、高抵抗層 7 が順次積層されることとなる。一方、所定の数例えば 3 であれば、C o 系非結晶質合金層 3 と T-L 組成物層 5 の積層が 3 回ずつ繰り返され、計 6 層となったときに、高抵抗層 7 が 1 層配置されることとなる。

以上の積層周期を、式 (2) として示す。

$$[ \{ (T2 / T1) \times n \} / T3 ] \times m \cdots \text{式 (2)}$$

ここで、上述したように、T 2 は C o 系非結晶質合金層 3 の厚さ、T 1 は T-L 組成物層 5 の厚さ、T 3 は高抵抗層 7 の厚さをそれぞれ示す。式 (2) 中、「/」は分数を意味するものではない。つまり、「T 2 / T 1」は、T 2 の値を T 1 の値で割るということを意味するものでなく、C o 系非結晶質合金層 3 と T-L 組成物層 5 を接触させて積層することを意味するものである。

また、n は本発明でいうところの「所定の数」を示す。本発明では、n = 1 ~ 5 とすることを推奨する。n が 5 を超えると、T 2 および T 1 の値を小さくしたとしても、表皮効果による高周波損失を低減することが困難となる。

m は、高周波用磁性薄膜 1 の総厚さが 200 ~ 2000 nm になるように任意に設定される係数である。

したがって、n = 2 の場合には、第 1 図に示したように、C o 系非結晶質合金層 3 と T-L 組成物層 5 がそれぞれ 2 層積層された後に、高抵抗層 7 が 1 層積層されることとなる。ここで、T-L 組成物層 5 の厚さ T 1、C o 系非結晶質合金層 3 の厚さ T 2、高抵抗層 7 の厚さ T 3 がそれぞれ 1.0 nm であると仮定する。この場合に、C o 系非結晶質合金層 3 と T-L 組成物層 5 がそれぞれ 2 層積層された後に、高抵抗層 7 が 1 層積層されるという 1 つのサイクルを経ることで、5.0 nm の厚さになる。よって、高周波用磁性薄膜 1 の総厚さを 200 ~ 2000 nm にするために、m は 40 ~ 400 に設定される。

C o 系非結晶質合金層 3、T-L 組成物層 5、高抵抗層 7 を含む高周波用磁性薄膜 1 において、式 (2) に示した積層周期を採用することによって、1 G

H z における表皮深さ (skin depth) を  $1.0 \mu\text{m}$  以上に設定することが可能となる。ここで、表皮深さは以下の式 (3) で表される。なお、式 (3) 中、 $\delta$  は表皮深さを表し、 $\omega$  は角周波数を表し、 $\mu$  は透磁率を表し、 $\sigma$  は電導率を表している。

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \sigma}} \quad \dots \text{式 (3)}$$

以上、式（２）を参照して、積層周期について述べたが、これはあくまで一例であって、他の積層形態を排除するものではない。例えば、以下に例示する第１サイクル（ $n=2$ ）と第２サイクル（ $n=3$ ）とを交互に繰り返すようにして、 $n$ を任意に変動させることもできる。

10 (例)

第1サイクル (n=2)

C o 系非結晶質合金層 3 と T-L 組成物層 5 が交互に 2 層ずつ積層された後に、高抵抗層 7 を 1 層積層

第2サイクル (n=3)

15 C o系非結晶質合金層3とT-L組成物層5が交互に3層ずつ積層された後に、  
高抵抗層7を1層積層

ここで、C o系非結晶質合金層 3を(3)、T-L組成物層 5を(5)、高抵抗層 7を(7)として表し、第1サイクル(n=2)と第2サイクル(n=3)とを交互に2回ずつ繰り返した場合の積層形態を以下に示す。

20     (3) (5) (3) (5) (7) (3) (5) (3) (5) (3) (5) (7) (3) (5) (3) (5) (7) (3) (5) (3) (5) (3) (5) (

7)

次に、本発明の高周波用磁性薄膜 1 が形成される基板 2 について説明する。

本発明の高周波用磁性薄膜 1 が形成される基板 2（第 1 図）としては、ガラス基板、セラミック材料基板、半導体基板、樹脂基板等が例示できる。セラミック材料としては、アルミナ、ジルコニア、炭化珪素、窒化珪素、窒化アルミニウム、ステアタイト、ムライト、コージライト、フォルステライト、スピネ

ル、フェライトなどが挙げられる。中でも熱伝導率が大きく、曲げ強度も大きい窒化アルミニウムを用いることが好ましい。

また本発明の高周波用磁性薄膜 1 は、上述してきたように極めて優れた高周波特性を有するとともに室温で成膜したままの状態での性能が発揮できる。

- 5    そのため、MMIC のような半導体プロセスで製作される高周波集積回路に最適な材料である。従って、基板 11、基板 21 および基板 31（後述の第 8 図、第 9 図および第 11 図に示される）としては、Si、GaAs、InP、SiGe などの半導体基板が例示できる。また、本発明の高周波用磁性薄膜 1 は、様々なセラミック材料や樹脂基板上に成膜することも勿論可能である。

- 10    続いて、本発明の高周波用磁性薄膜 1 を適用した磁気素子の具体例を示す。

平面型の磁気素子をインダクタに応用した一例を第 7 図および第 8 図に示す。第 7 図は、インダクタの平面図を模式的に示したものであり、第 8 図は第 7 図の A-A 矢視断面を模式的に示した図面である。

- これらの図面に示されるインダクタ 10 は、基板 11 と、この基板 11 の両面にスパイラル状に形成された平面コイル 12、12 と、これらの平面コイル 12、12 と基板 11 面を覆うように形成された絶縁膜 13、13 と、これらの各々の絶縁膜 13、13 の上を覆うように形成された一对の本発明の高周波用磁性薄膜 1 とを備えている。そして、上記 2 つの平面コイル 12、12 は、基板 11 の略中央部分に形成されたスルーホール 15 を介して電氣的に接続されている。さらに、基板 11 の両面の平面コイル 12、12 からそれぞれ接続のための端子 16 が基板 11 の外方に引き出されている。このようなインダクタ 10 は、一对の高周波用磁性薄膜 1 によって、絶縁膜 13、13 を介して平面コイル 12、12 を挟むように構成されているので、接続端子 16、16 間にインダクタが形成される。

- 25    このように形成されたインダクタは、小型かつ薄型軽量で、特に 1GHz 以上の高周波帯域で優れたインダクタンスを示す。

なお、上記説明したインダクタ 10 において、平面コイル 12 を並列的に複数設けることによりトランスを形成することができる。

本発明の平面型磁気素子をインダクタに応用した他の好適な実施の形態を第 9 図に示す。第 9 図は、インダクタの断面を模式的に示したものである。この第 9 図に示されるようにインダクタ 20 は、基板 21 と、この基板 21 の上に必要に応じて形成される酸化膜 22 と、この酸化膜 22 の上に形成された本発明の磁性薄膜 1a と、この磁性薄膜 1a の上に形成された絶縁膜 23 を備え、さらにこの絶縁膜 23 の上に形成された平面コイル 24 と、これらの平面コイル 24 と絶縁膜 23 を覆うように形成された絶縁膜 25 と、この絶縁膜 25 の上に形成された本発明の高周波用磁性薄膜 1b とを有している。このように形成されたインダクタ 20 もやはり、小型かつ薄型軽量で、特に 1GHz 以上の高周波帯域で優れたインダクタンスを示す。そしてこのようなインダクタ 20 において、平面コイル 24 を並列的に複数設けることによりトランスを形成することができる。

ところで、薄膜インダクタなどの平面型磁気素子においては、それぞれの素子の設計仕様に応じた最適な透磁率を提供することが要望される。高周波帯域における透磁率は、異方性磁界と相関が高く、高周波帯域における透磁率は異方性磁界の逆数に比例する。高周波帯域における高透磁率を実現するためには、磁性薄膜面内で一軸異方性を有することが必要である。また、薄膜インダクタなどの平面型磁気素子では、磁性薄膜の飽和磁化が高いほど直流重畳特性の向上が期待できる。そのため、飽和磁化の大きさは、高周波用磁性薄膜 1 の設計において重要なパラメータといえる。

本発明の高周波用磁性薄膜 1 を、MMIC 用インダクタとして応用した例を第 10 図および第 11 図に示す。

第 10 図はインダクタの導体層部分を抜き出した平面図を模式的に示したものであり、第 11 図は第 10 図の A-A 矢視断面を模式的に示した図面である。これらの図面で示されているインダクタ 30 は、第 11 図に示されるように基板 31 と、この基板 31 の上に必要に応じて形成される絶縁酸化膜 32 と、その絶縁酸化膜 32 の上に形成された本発明の高周波用磁性薄膜 1a と、この高周波用磁性薄膜 1a の上に形成された絶縁膜 33 を備え、さらにこの絶縁膜

33の上に形成されたスパイラルコイル34と、このスパイラルコイル34と絶縁膜33を覆うように形成された絶縁膜35と、この絶縁膜35の上に形成された本発明の高周波用磁性薄膜1bとを有している。

また、スパイラルコイル34は、第10図に示されるように配線36を介して一対の電極37に接続されている。そして、スパイラルコイル34を囲むように設けられた一対のグラウンドパターン39は、それぞれ一対のグラウンド電極38に接続され、グラウンド—シグナル—グラウンド（G—S—G）タイプのプローブにより、ウェハ上で周波数特性を評価する形状を有している。

本実施の形状にかかるMMIC用インダクタにおいては、磁芯となる高周波用磁性薄膜1a、1bでもってスパイラルコイル34が挟み込まれた有芯構造を採用している。そのため、スパイラルコイル34が同じ形状でありながらも高周波用磁性薄膜1a、1bが形成されていない空芯構造のインダクタに比べ、インダクタンス値が約50%向上する。従って、同じインダクタンス値を得るために必要なスパイラルコイル34の占有面積は小さくてもよいことになり、その結果としてスパイラルコイル34の小型化が実現できる。

ところで、MMIC用インダクタに適用する磁性薄膜の材料としては、GHz帯で高透磁率、かつ高い性能指数Q（低損失）特性を持つことや、半導体製造プロセスによる集積化が可能であることが求められる。

GHz帯における高透磁率を実現するためには、共鳴周波数が高く、かつ飽和磁化が大きい材質が有利であり、一軸磁気異方性の制御が必要である。また、高い性能指数Qを得るためには、高抵抗化による渦電流損失の抑制が重要である。さらに、集積化プロセスに適用するためには、室温で成膜でき、成膜したままの状態で使用できることが望ましい。すでにセッティングされている他のオンチップコンポーネントの性能および作製プロセスに加熱による悪影響を及ぼさないようにするためである。

（実施例）



次に、具体的な実施例を挙げて本発明をさらに詳細に説明する。

〔実施例 1〕

以下の成膜手法に従って本発明の高周波用磁性薄膜を作製した。

(成膜手順)

- 5     Si ウェハの上に SiO<sub>2</sub> を 100 nm の厚さに成膜したものを基板として用いた。

- 多元同時スパッタリング装置を用いて、下記の要領で基板上に高周波用磁性薄膜を成膜(deposit)させた。すなわち、多元同時スパッタリング装置内を  $8 \times 10^{-5}$  Pa まで予備排気した後、圧力が 10 Pa になるまで Ar ガスを導入し、  
10   100 W の RF パワーで 10 分間、基板表面をスパッタエッチングした。

- 次いで、圧力が 0.4 Pa になるように Ar ガスの流量を調整し、300 W のパワーで Co<sub>87</sub>Zr<sub>5</sub>Nb<sub>8</sub> ターゲット、Fe ターゲット上に C (炭素) ペレットを配置した複合ターゲット、および FeCo ターゲットの上に Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (アルミナ) を配置した複合ターゲットを繰り返しスパッタリングして後述する仕様  
15   からなる高周波用磁性薄膜としての複合磁性薄膜を成膜(deposit)させた。

- 成膜時には基板に 0 ~ -80 V の DC バイアスを印加した。また、ターゲット表面の不純物の影響を防止するためにシャッターを閉めた状態で 10 分以上プリスパッタリングを行った。その後、シャッターを開けることにより基板上に成膜を行った。成膜速度 (rate) は、CoZrNb 層の成膜時で 0.33 nm/秒、Fe-C 層 (炭素濃度: 5 at%) の成膜時で 0.27 nm/秒、FeCoAlO (Fe 55.2 - Co 24.8 - Al 20 - at%) 層の成膜時  
20   で 0.12 nm/秒とした。シャッターの開閉時間を制御することで各層の膜厚を調整した。

(成膜サイクル)

- 25   まず、基板上の第 1 層目として厚さ 1.0 nm の CoZrNb 層を成膜した後、その上に第 2 層目として厚さ 1.0 nm の Fe-C 層を形成する成膜サイクルを 2 回繰り返した。次いで、第 4 層目の上に厚さ 1.0 nm の FeCoAlO 層を成膜した。以上のように、CoZrNb 層と Fe-C 層が交互に 2 層

ずつ積層されたときにFeCoAlO層を1層成膜するという1サイクルの成膜処理を、100サイクル行い、第12図に示す磁性薄膜構成を有する複合磁性薄膜（実施例1）を得た（総厚さ：500nm）。なお、Fe-C、CoZrNb、FeCoAlOの単層膜での比抵抗を以下に示しておく。

- 5 Fe-C :  $40 \mu\Omega\text{cm}$  (炭素濃度 : 5 at %) ~  
 $70 \mu\Omega\text{cm}$  (炭素濃度 : 7 at %)

CoZrNb :  $120 \mu\Omega\text{cm}$

(Fe<sub>55.2</sub>Co<sub>24.8</sub>Al<sub>20</sub>)O :  $600 \mu\Omega\text{cm}$

〔実施例2〕

- 10 (成膜サイクル)

基板上の第1層目として厚さ1.5nmのCoZrNb層を成膜した後、その上に第2層目として厚さ1.5nmのFe-C層を形成する成膜サイクルを3回繰り返した。次いで、第6層目の上にFeCoAlO層を1.0nm成膜した。以上のように、CoZrNb層とFe-C層が交互に3層ずつ積層され

- 15 たときにFeCoAlO層を1層成膜するという1サイクルの成膜処理を、50サイクル行い、第12図に示す磁性薄膜構成を有する複合磁性薄膜（実施例2）を得た（総厚さ：500nm）。なお、成膜手順は上述した実施例1と同様である。

〔実施例3〕

- 20 (成膜サイクル)

基板上の第1層目として厚さ20.0nmのCoZrNb層を成膜した後、その上に第2層目として厚さ5.0nmのFe-C層を形成した。そして、Fe-C層の上にFeCoAlO層を2.0nm成膜した。以上のように、CoZrNb層、Fe-C層およびFeCoAlO層を交互に1層成膜するという  
 25 1サイクルの成膜処理を、18サイクル行い、第12図に示す磁性薄膜構成を有する複合磁性薄膜（実施例3）を得た（総厚さ：486nm）。なお、成膜手順は上述した実施例1と同様である。

〔実施例4〕

(成膜サイクル)

基板上の第1層目として厚さ20.0nmのCoZrNb層を成膜した後、その上に第2層目として厚さ50.0nmのFe-C層を形成した。そして、Fe-C層の上にFeCoAlO層を5.0nm成膜した。以上のように、CoZrNb層、Fe-C層およびFeCoAlO層を交互に1層成膜するという1サイクルの成膜処理を、7サイクル行い、第12図に示す磁性薄膜構成を有する複合磁性薄膜（実施例4）を得た（総厚さ：525nm）。なお、成膜手順は上述した実施例1と同様である。

〔実施例5〕

10 以上の実施例1～4は、いずれも高抵抗層7としてFeCoAlO層を用いるものであったが、実施例5ではFeCoAlO層に変えて、高抵抗層7としてSiO<sub>2</sub>を用いた。

高抵抗層7としてSiO<sub>2</sub>を用いた点および高抵抗層7を形成するためのターゲットとしてSiO<sub>2</sub>ターゲットを用いた以外は、実施例1と同様の成膜手順および同様の成膜サイクルを経て、第12図に示す磁性薄膜構成を有する複合磁性薄膜（実施例5）を得た（総厚さ：500nm）。なお、SiO<sub>2</sub>の単層膜での比抵抗を以下に示しておく。

$$\text{SiO}_2 : \sim 10^{12} \Omega \text{cm}$$

〔実施例6〕

20 実施例5と同様に、FeCoAlO層に変えて、高抵抗層7としてSiO<sub>2</sub>を用いた。

(成膜サイクル)

基板上の第1層目として厚さ1.0nmのCoZrNb層を成膜した後、その上に第2層目として厚さ1.0nmのFe-C層を形成した。そして、Fe-C層の上にSiO<sub>2</sub>層を1.0nm成膜した。以上のように、CoZrNb層、Fe-C層およびSiO<sub>2</sub>層を交互に1層ずつ成膜するという1サイクルの成膜処理を、100サイクル行い、第12図に示す磁性薄膜構成を有する複合磁性薄膜（実施例6）を得た（総厚さ：300nm）。

## 〔実施例 7〕

実施例 5 と同様に、 $\text{FeCoAlO}$  層に代えて、高抵抗層 7 として  $\text{SiO}_2$  を用いた。

## (成膜サイクル)

- 5 高抵抗層 7 として  $\text{SiO}_2$  を用いた点および高抵抗層 7 を形成するためのターゲットとして  $\text{SiO}_2$  ターゲットを用いた以外は、実施例 4 と同様の成膜手順および同様の成膜サイクルを経て、第 12 図に示す磁性薄膜構成を有する複合磁性薄膜 (実施例 7) を得た (総厚さ : 525 nm)。

## 〔実施例 8〕

- 10  $\text{FeCoAlO}$  層 (実施例 1 ~ 4) および  $\text{SiO}_2$  層 (実施例 5 ~ 7) に変えて、高抵抗層 7 として自然酸化膜を用いた。なお、以下の手順にしたがって、自然酸化膜を形成した。

## (自然酸化膜の形成手順)

- 自然酸化膜は、各金属層を成膜した後、スパッタ装置内部に 20 sccm の  $\text{O}_2$  ガスを 20 秒間導入し金属層の表面を酸化させることで形成した。自然酸化膜を形成してから、スパッタ装置を  $10^{-4}$  Pa 台まで排気した。その後の積層工程は実施例 1 と同じ条件で行った。
- 15  $\text{O}_2$  ガスを 20 秒間導入し金属層の表面を酸化させることで形成した。自然酸化膜を形成してから、スパッタ装置を  $10^{-4}$  Pa 台まで排気した。その後の積層工程は実施例 1 と同じ条件で行った。

- 高抵抗層 7 として自然酸化膜を用いた点、高抵抗層 7 を形成するためのターゲットを要しない点以外は、実施例 1 と同様の成膜手順および同様の成膜サイクルを経て、第 12 図に示す磁性薄膜構成を有する複合磁性薄膜 (実施例 8) を得た (総厚さ : 500 nm)。
- 20 高抵抗層 7 として自然酸化膜を用いた点、高抵抗層 7 を形成するためのターゲットを要しない点以外は、実施例 1 と同様の成膜手順および同様の成膜サイクルを経て、第 12 図に示す磁性薄膜構成を有する複合磁性薄膜 (実施例 8) を得た (総厚さ : 500 nm)。

## 〔比較例 1〕

- 上記実施例 1 において、 $\text{Fe}-\text{C}$  層を  $\text{Fe}$  層に変えた。また、 $\text{FeCoAlO}$  層を設けずに、 $\text{CoZrNb}$  層と  $\text{Fe}-\text{C}$  層とを交互に積層することによって比較例の複合磁性薄膜 (比較例 1) を形成した。なお、実施例 1 の総厚さ (500 nm) と同じになるように、 $\text{CoZrNb}$  層と  $\text{Fe}$  層の積層回数はそれぞれ 250 回とした。
- 25 上記実施例 1 において、 $\text{Fe}-\text{C}$  層を  $\text{Fe}$  層に変えた。また、 $\text{FeCoAlO}$  層を設けずに、 $\text{CoZrNb}$  層と  $\text{Fe}-\text{C}$  層とを交互に積層することによって比較例の複合磁性薄膜 (比較例 1) を形成した。なお、実施例 1 の総厚さ (500 nm) と同じになるように、 $\text{CoZrNb}$  層と  $\text{Fe}$  層の積層回数はそれぞれ 250 回とした。

実施例 1～8、比較例 1 で得られた複合磁性薄膜の磁気特性、高周波透磁率特性および比抵抗をそれぞれ測定した。その結果を第 13 図に示す。なお、高周波透磁率の測定は薄膜高周波透磁率測定装置（成瀬科学器機、PHF—F 1000）を用い、磁気特性は振動試料型磁力計（理研電子、BHV—35）を用いて測定した。比抵抗は、4 短針抵抗器（マイクロスイス、4 短針プローブヘッド付き、エヌピイエス、Σ—5）を用いて測定した。また、実施例 1～8 については、複合磁性薄膜における高抵抗層 7 の占有率（vol %）も第 13 図に併せて示す。

第 13 図に示すように、本発明による各実施例は、14 kG（1.4 T）以上の飽和磁化、2.0 GHz 以上の共鳴周波数、1 GHz における透磁率の実数部（ $\mu'$ ）が 400 以上、20 以上の Q 値、そして比抵抗が  $200 \mu\Omega\text{cm}$  以上という特性を備えることができる。したがって、本発明による各実施例で用いた FeCoAlO 層、SiO<sub>2</sub> 層および自然酸化膜は、磁気特性および高周波透磁率特性を損なうことなく、比抵抗を向上させる上で有効なものであることがわかった。ここで、実施例 1～8 の中で、T1 が 0.5～3 nm の範囲、かつ T1/T2 が 0.8～3.0 の範囲にある実施例 1、2、5、6、8 は 14 kG（1.4 T）以上の飽和磁化、25 以上の Q 値を得ていることが注目される。また、グラニューラ構造膜の一種である FeCoAlO で高抵抗層 7 を形成した実施例 1～4 は、 $200 \mu\Omega\text{cm}$  以上の比抵抗を示しつつ、いずれも飽和磁化が 14.5 kG（1.45 T）以上、1 GHz における透磁率の実数部（ $\mu'$ ）が 400 以上と、良好な磁気特性および高周波透磁率特性を示した。

一方、高抵抗層 7 を形成していない比較例 1 については、 $70 \mu\Omega\text{cm}$  という不十分な比抵抗を示した。また、1 GHz における透磁率の実数部（ $\mu'$ ）は 150 であるが、透磁率の値が小さいため  $\mu''$  の実測値には信頼性がなく、性能指数 Q（ $Q = \mu' / \mu''$ ）は求められなかった。

なお、実施例 1～8 で得られた複合磁性薄膜の構造を確認したところ、以下のことが判明した。

（実施例 1、2、5、6、8 について）

実施例 1、2、5、6、8 は、Fe-C 層の厚さが 1.0～1.5 nm である。X 線回折から、これらの複合磁性薄膜の構造を確認したところ、Fe-C 層および CoZrNb 層はいずれも非結晶質であることが確認された。

(実施例 4、7 について)

- 5 実施例 4 および 7 は、Fe-C 層の厚さが 50.0 nm である。これらの複合磁性薄膜の構造を確認したところ、Fe-C 層は主に柱状結晶粒から構成され、この柱状構造部分はアスペクト比が 1.4 以下であることを確認した。また、CoZrNb 層については非結晶質であることが確認された。実施例 4 で得られた複合磁性薄膜の断面模式図を第 14 図に示しておく。

- 10 (実施例 3 について)

実施例 3 は、Fe-C 層の厚さが 5.0 nm である。この複合磁性薄膜の構造を確認したところ、Fe-C 層は前述した非結晶質構造部分とその上に形成される柱状構造部分とから構成され、この柱状構造部分はアスペクト比が 1.4 以下であることを確認した。また、CoZrNb 層は非結晶質であることが

- 15 確認された。

[実施例 9]

上記実施例 1 において、Fe-C 層を Fe-B 層に変えた。それ以外は、上記実施例 1 と同様にして、本発明の複合磁性薄膜（実施例 9）を形成した。

[実施例 10]

- 20 上記実施例 3 において、Fe-C 層を Fe-B 層に変えた。それ以外は、上記実施例 3 と同様にして、本発明の複合磁性薄膜（実施例 10）を形成した。

[実施例 11]

上記実施例 5 において、Fe-C 層を Fe-B 層に変えた。それ以外は、上記実施例 5 と同様にして、本発明の複合磁性薄膜（実施例 11）を形成した。

- 25 [実施例 12]

上記実施例 7 において、Fe-C 層を Fe-B 層に変えた。それ以外は、上記実施例 7 と同様にして、本発明の複合磁性薄膜（実施例 12）を形成した。

なお、実施例 9～実施例 12 では、 $\text{Fe}_{95}\text{B}_5$ 合金ターゲットを用いることにより、 $\text{Fe}-\text{B}$ 層を形成した。

〔実施例 13〕

- 5 上記実施例 1 において、 $\text{Fe}-\text{C}$ 層を $\text{Fe}-\text{B}-\text{N}$ 層に変えた。それ以外は、  
上記実施例 1 と同様にして、本発明の複合磁性薄膜（実施例 13）を形成した。  
なお、 $\text{Fe}_{95}\text{B}_5$ 合金ターゲットを用いるとともに、スパッタリング中にNガスを  
スパッタ装置のチャンバ内に導入することにより、 $\text{Fe}-\text{B}-\text{N}$ 層を形成し  
た。

〔実施例 14〕

- 10 上記実施例 1 において、 $\text{Fe}-\text{C}$ 層を $\text{Fe}-\text{B}-\text{C}$ 層に変えた。それ以外は、  
上記実施例 1 と同様にして、本発明の複合磁性薄膜（実施例 14）を形成した。  
なお、 $\text{Fe}_{95}\text{B}_5$ 合金ターゲットを用いることにより、 $\text{Fe}-\text{B}-\text{C}$ 層を形成し  
た。

〔実施例 15〕

- 15 上記実施例 1 において、 $\text{Fe}-\text{C}$ 層を $\text{Fe}-\text{C}-\text{N}$ 層に変えた。それ以外は、  
上記実施例 1 と同様にして、本発明の複合磁性薄膜（実施例 15）を形成した。  
なお、スパッタリング中にNガスをスパッタ装置のチャンバ内に導入すること  
により、 $\text{Fe}-\text{C}-\text{N}$ 層を形成した。

- 20 実施例 9～15 で得られた複合磁性薄膜の磁気特性、高周波透磁率特性およ  
び比抵抗をそれぞれ測定した。その結果を第 15 図にまとめて示す。なお、磁  
気特性、高周波透磁率特性および比抵抗の測定条件は、上述の場合と同様であ  
る。

第 15 図の実施例 9～15 から、 $\text{T-L}$ 組成物層 5 を構成する膜にはCのみ  
ならずBおよび／またはNを適用できることがわかる。

- 25 〔実施例 16〕

上記実施例 1 において、 $\text{Fe}-\text{C}$ 層を $\text{FeCo}-\text{C}$ 層に変えた。それ以外は、  
上記実施例 1 と同様にして、本発明の複合磁性薄膜（実施例 16）を形成した。

なお、 $\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}$ ターゲット上にC（炭素）ペレットを配置した複合ターゲットを用いることにより、 $\text{FeCo-C}$ 層を形成した。

〔実施例 17〕

- 上記実施例 1 において、 $\text{Fe-C}$ 層を $\text{FeCo-B}$ 層に変えた。それ以外は、  
5 上記実施例 1 と同様にして、本発明の複合磁性薄膜（実施例 17）を形成した。  
なお、 $\text{Fe}_{65}\text{Co}_{30}\text{B}_5$ 合金ターゲットを用いることにより、 $\text{FeCo-B}$ 層を形成した。

〔実施例 18〕

- 上記実施例 3 において、 $\text{Fe-C}$ 層を $\text{FeCo-C}$ 層に変えた。それ以外は、  
10 上記実施例 3 と同様にして、本発明の複合磁性薄膜（実施例 18）を形成した。  
なお、 $\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}$ ターゲット上にC（炭素）ペレットを配置した複合ターゲットを用いることにより、 $\text{FeCo-C}$ 層を形成した。

〔実施例 19〕

- 上記実施例 3 において、 $\text{Fe-C}$ 層を $\text{FeCo-B}$ 層に変えた。それ以外は、  
15 上記実施例 3 と同様にして、本発明の複合磁性薄膜（実施例 19）を形成した。  
なお、 $\text{Fe}_{65}\text{Co}_{30}\text{B}_5$ 合金ターゲットを用いることにより、 $\text{FeCo-B}$ 層を形成した。

〔実施例 20〕

- 上記実施例 5 において、 $\text{Fe-C}$ 層を $\text{FeCo-C}$ 層に変えた。それ以外は、  
20 上記実施例 5 と同様にして、本発明の複合磁性薄膜（実施例 20）を形成した。  
なお、 $\text{Fe}_{70}\text{Co}_{30}$ ターゲット上にC（炭素）ペレットを配置した複合ターゲットを用いることにより、 $\text{FeCo-C}$ 層を形成した。

〔実施例 21〕

- 上記実施例 5 において、 $\text{Fe-C}$ 層を $\text{FeCo-B}$ 層に変えた。それ以外は、  
25 上記実施例 5 と同様にして、本発明の複合磁性薄膜（実施例 21）を形成した。  
なお、 $\text{Fe}_{65}\text{Co}_{30}\text{B}_5$ 合金ターゲットを用いることにより、 $\text{FeCo-B}$ 層を形成した。

〔実施例 22〕



上記実施例 7 において、Fe-C 層を FeCo-C 層に変えた。それ以外は、上記実施例 7 と同様にして、本発明の複合磁性薄膜（実施例 2 2）を形成した。なお、Fe<sub>70</sub>Co<sub>30</sub>ターゲット上に C（炭素）ペレットを配置した複合ターゲットを用いることにより、FeCo-C 層を形成した。

5   〔実施例 2 3〕

上記実施例 7 において、Fe-C 層を FeCo-B 層に変えた。それ以外は、上記実施例 7 と同様にして、本発明の複合磁性薄膜（実施例 2 3）を形成した。なお、Fe<sub>65</sub>Co<sub>30</sub>B<sub>5</sub>合金ターゲットを用いることにより、FeCo-B 層を形成した。

10   〔実施例 2 4〕

上記実施例 1 において、Fe-C 層を FeCo-B-N 層に変えた。それ以外は、上記実施例 1 と同様にして、本発明の複合磁性薄膜（実施例 2 4）を形成した。なお、Fe<sub>65</sub>Co<sub>30</sub>B<sub>5</sub>合金ターゲットを用いるとともに、スパッタリング中に N ガスをスパッタ装置のチャンバ内に導入することにより、FeCo-B-N 層を形成した。

15   〔実施例 2 5〕

上記実施例 1 において、Fe-C 層を FeCo-B-C 層に変えた。それ以外は、上記実施例 1 と同様にして、本発明の複合磁性薄膜（実施例 2 5）を形成した。なお、Fe<sub>65</sub>Co<sub>30</sub>B<sub>5</sub>合金ターゲット上に C（炭素）ペレットを配置した複合ターゲットを用いることにより、FeCo-B-C 層を形成した。

20   〔実施例 2 6〕

上記実施例 1 において、Fe-C 層を FeCo-C-N 層に変えた。それ以外は、上記実施例 1 と同様にして、本発明の複合磁性薄膜（実施例 2 6）を形成した。なお、Fe<sub>70</sub>Co<sub>30</sub>ターゲット上に C（炭素）ペレットを配置した複合ターゲットを用いるとともに、スパッタリング中に N ガスをスパッタ装置のチャンバ内に導入することにより、FeCo-C-N 層を形成した。

実施例 1 6 ～ 2 6 で得られた複合磁性薄膜の磁気特性、高周波透磁率特性および比抵抗をそれぞれ測定した。その結果を第 1 6 図にまとめて示す。なお、

磁気特性、高周波透磁率特性および比抵抗の測定条件は、上述の場合と同様である。

第16図の実施例16～26から、T-L組成物層5のTの部分、FeCoとすることも有効であることがわかる。ここで、実施例16～26はいずれも16kG（1.6T）以上の飽和磁化を示していることが注目される。よって、T-L組成物層5のTの部分、FeCoとすることは、飽和磁化の向上に特に有効であることがわかった。

#### 産業上の利用可能性

- 10 本発明によれば、GHz帯域の高周波帯域で、高い透磁率を有し、かつ高い飽和磁化を有するとともに、高い比抵抗を備えた高周波用磁性薄膜が提供される。

## 請 求 の 範 囲

1. T-L組成物（ただし、 $T = Fe$ または $FeCo$ 、 $L = C$ 、BおよびNから選択される少なくとも1種の元素）からなる第1の層と、
- 5 前記第1の層のいずれかの面側に配置されたCo系非結晶質合金からなる第2の層と、  
前記第1の層または前記第2の層のいずれかの側に配置され、前記第1の層および前記第2の層よりも高い電気抵抗を示す第3の層と、を含み、  
複数の前記第1の層と複数の前記第2の層と複数の前記第3の層とが積層されて多層膜構造をなすことを特徴とする高周波用磁性薄膜。
- 10 2. 前記第1の層および前記第2の層の積層が所定の数だけ繰り返される毎に、前記第3の層が配置されることを特徴とする請求項1に記載の高周波用磁性薄膜。
- 15 3. 前記所定数は、1～5であることを特徴とする請求項2に記載の高周波用磁性薄膜。
4. 前記T-L組成物を構成するTは $FeCo$ であることを特徴とする請求項
- 20 1に記載の高周波用磁性薄膜。
5. 前記T-L組成物中のCoの濃度が10～50at%であることを特徴とする請求項4に記載の高周波用磁性薄膜。
- 25 6. 前記T-L組成物を構成するLはCまたは／およびBであることを特徴とする請求項1に記載の高周波用磁性薄膜。
7. 前記Co系非結晶質合金は、Coを主成分とし、かつM元素（ただし、M

はB, C, Si, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Y, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta, Wから選択される少なくとも1種の元素)を含み、

前記Co系非結晶質合金中の前記M元素の濃度が10～30at%であることを特徴とする請求項1に記載の高周波用磁性薄膜。

5

8. 前記第3の層は、グラニューラ構造膜、酸化物膜、窒化物膜および弗化物膜の少なくとも1つであることを特徴とする請求項1に記載の高周波用磁性薄膜。

10 9. 前記第1の層と前記第2の層と前記第3の層とが積層された状態で、飽和磁化が14kG(1.4T)以上かつ比抵抗が200 $\mu\Omega$ cm以上であることを特徴とする請求項1に記載の高周波用磁性薄膜。

15 10. 1GHzにおける複素透磁率の実数部( $\mu'$ )が300以上で、かつ性能指数Q( $Q=\mu'/\mu''$ )が10以上であることを特徴とする請求項1に記載の高周波用磁性薄膜。

20 11. 前記第1の層の厚さをT1、前記第2の層の厚さをT2とした場合に、T1が0.5～3.0nmの範囲にあり、かつT1/T2が0.8～3.0の範囲にあることを特徴とする請求項1に記載の高周波用磁性薄膜。

12. 前記第1の層の厚さをT1、前記第2の層の厚さをT2とした場合に、前記第1の層の厚さをT1、前記第2の層の厚さをT2とした場合に、T1が3～70nmの範囲にあり、かつT1/T2が0.15～3.50の範囲あることを特徴とする請求項1に記載の高周波用磁性薄膜。

25

13. FeまたはFeCoを主成分とし、単層膜で飽和磁化が16kG(1.

6 T) 以上の特性を有し、かつアスペクト比が 1.4 以下の柱状構造または非結晶質構造からなる第 1 の層と、

Co を主成分とし、単層膜で透磁率が 1000 以上 (測定周波数: 10 MHz)、飽和磁化が 10 kG (1.0 T) 以上、比抵抗が  $100 \mu\Omega\text{cm}$  以上の特性を有する第 2 の層と、

前記第 1 の層および前記第 2 の層が積層された積層体であって、

前記積層体の表面および／または内部に、前記第 2 の層よりも高い電気抵抗を示す第 3 の層が配置されていることを特徴とする複合磁性薄膜。

10 14. 前記第 3 の層は磁性体であることを特徴とする請求項 13 に記載の複合磁性薄膜。

15 15. 前記複合磁性薄膜の総厚さは 200 ~ 3000 nm であることを特徴とする請求項 13 に記載の複合磁性薄膜。

16. 前記第 3 の層は、前記複合磁性薄膜に対する占有率が 40 vol % 以下であることを特徴とする請求項 13 に記載の複合磁性薄膜。

20 17. 前記複合磁性薄膜に対する占有率が 3 ~ 20 vol % であることを特徴とする請求項 16 に記載の複合磁性薄膜。

18. 前記第 1 の層は非結晶質構造からなることを特徴とする請求項 13 に記載の複合磁性薄膜。

25 19. 高周波用磁性薄膜を有する磁気素子であって、

前記高周波用磁性薄膜は、T-L 組成物 (ただし、T = Fe または FeCo、L = C, B および N から選択される少なくとも 1 種の元素) からなる第 1 の層と、

前記第 1 の層のいずれかの面側に配置された C o 系非結晶質合金からなる第 2 の層と、

前記第 1 の層または前記第 2 の層のいずれかの側に配置され、前記第 1 の層および前記第 2 の層よりも高い電気抵抗を示す第 3 の層と、を含み、

- 5 複数の前記第 1 の層と複数の前記第 2 の層と複数の前記第 3 の層とが積層されて多層膜構造をなすことを特徴とする磁気素子。

20. 前記第 3 の層は、グラニュー構造膜から構成されることを特徴とする請求項 19 に記載の磁気素子。

10

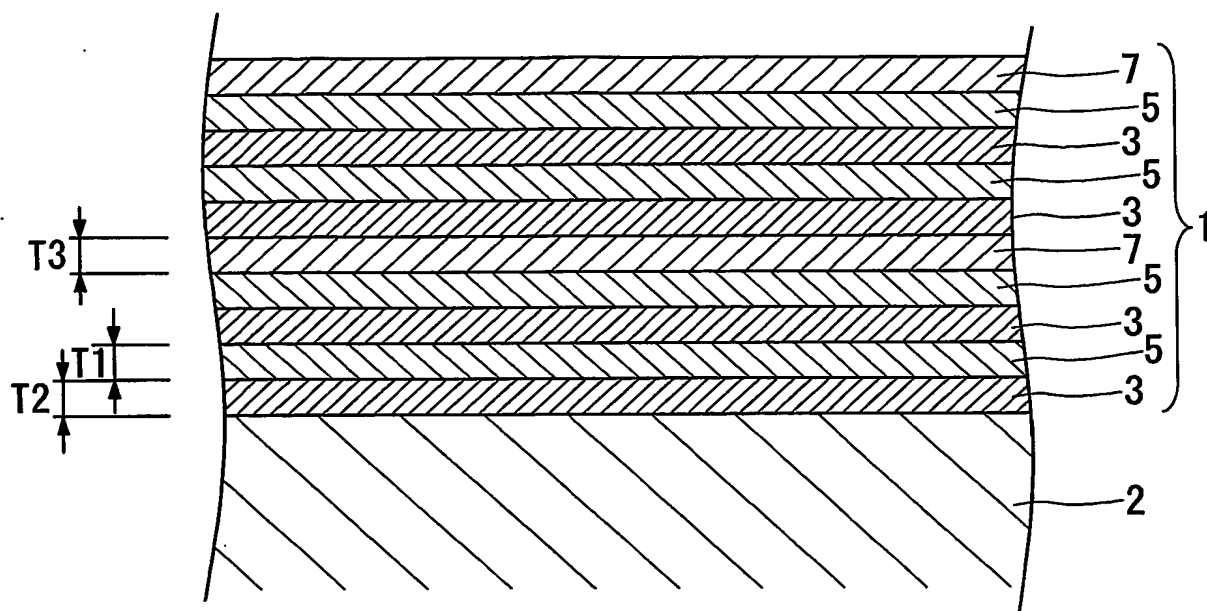
21. 前記 T-L 組成物層中に含有される前記 L 元素の濃度が 2 ~ 20 a t % であることを特徴とする請求項 19 に記載の磁気素子。

22. 前記磁気素子がインダクタまたはトランスであることを特徴とする請求項

- 15 19 に記載の磁気素子。

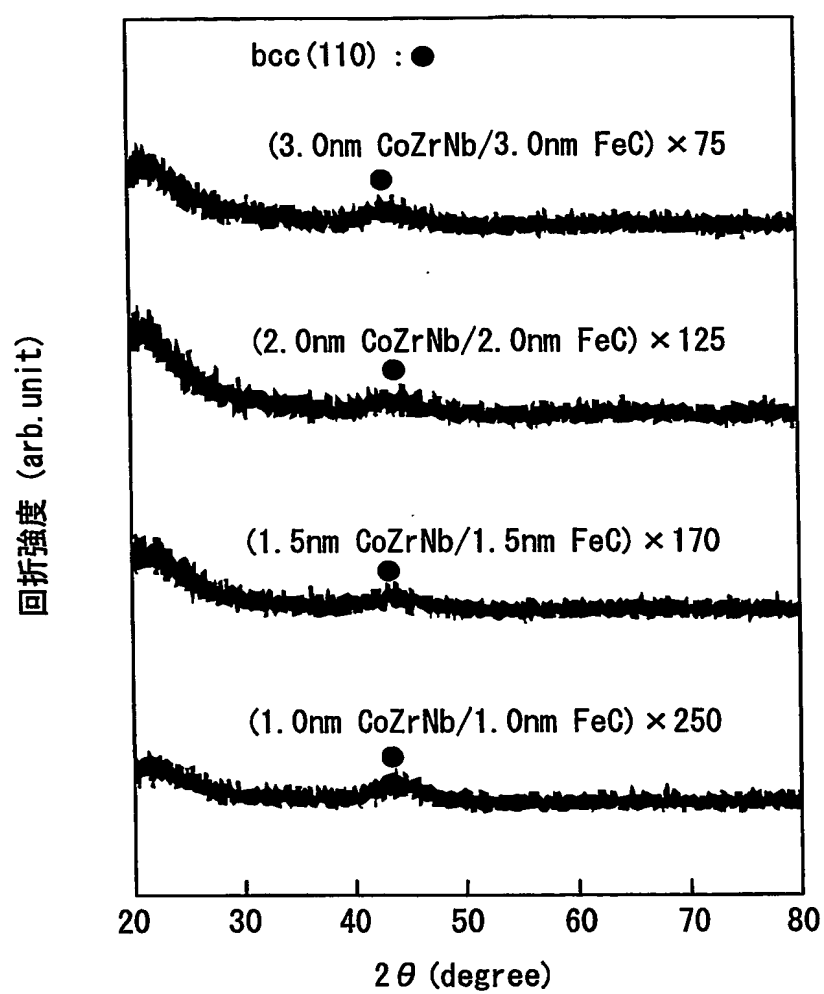
1/14

第1図



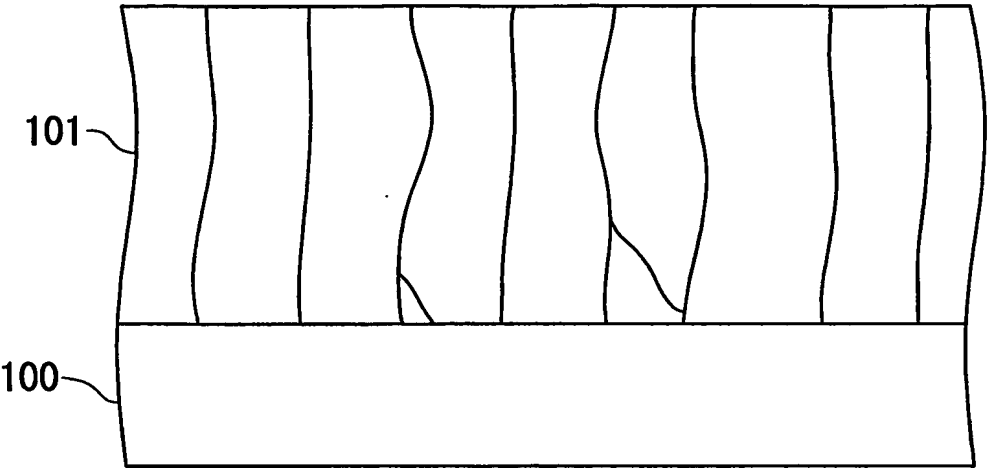
2/14

## 第2図

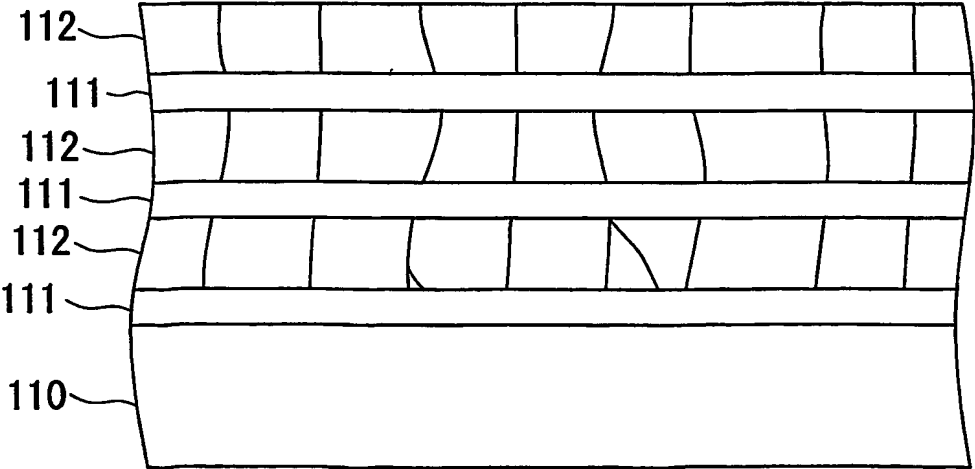




第3図

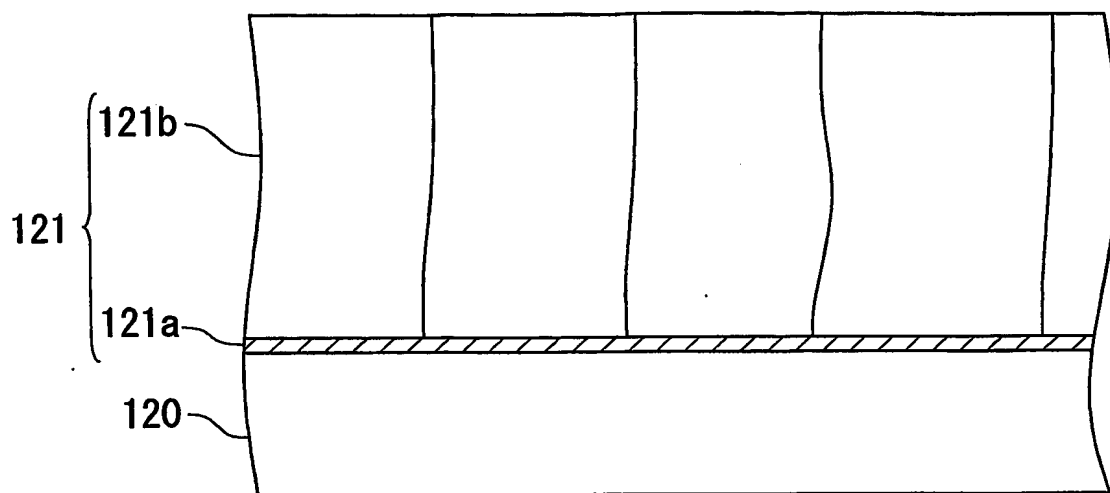


第4図

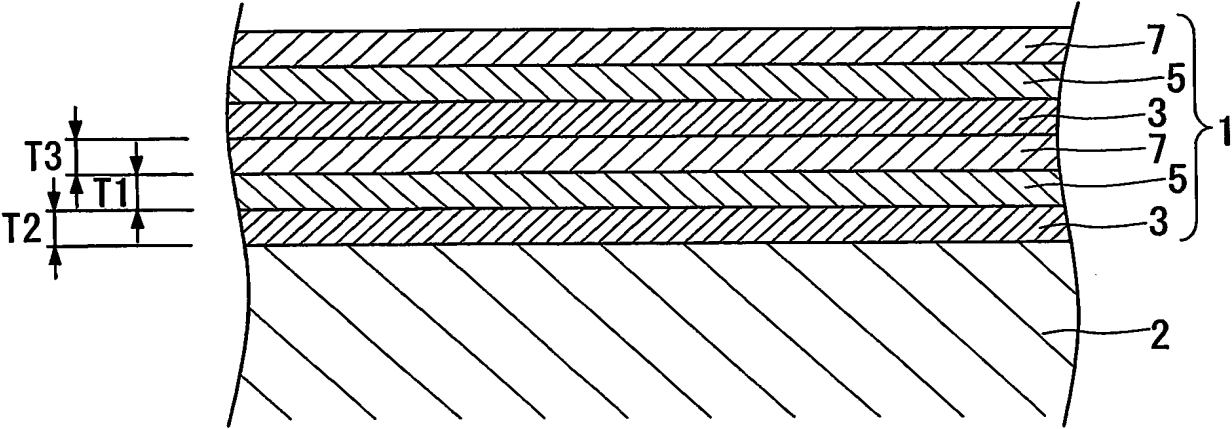


4/14

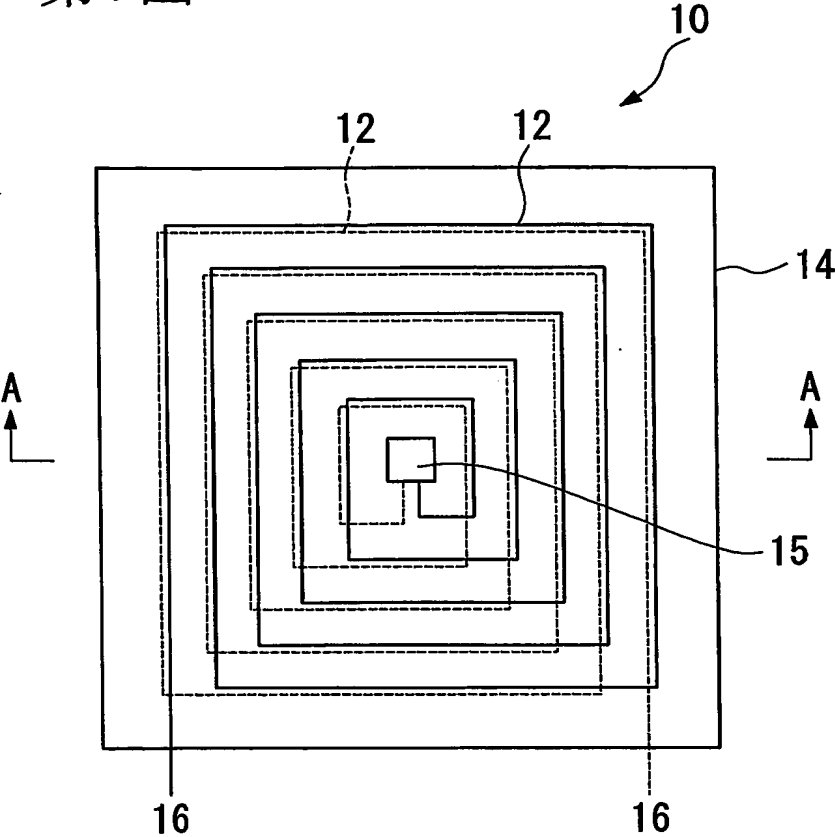
第5図



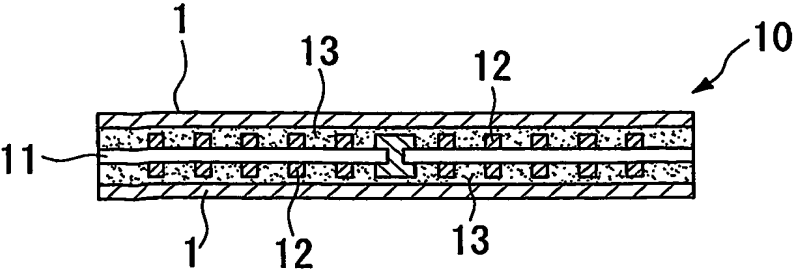
第6図



第7図

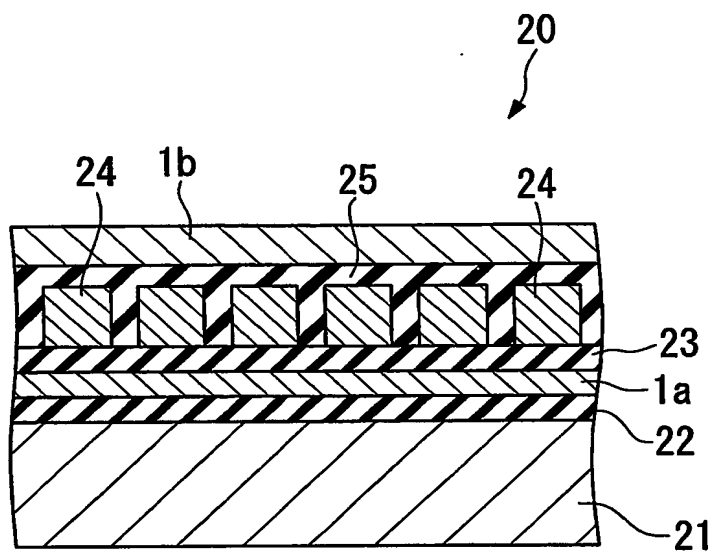


第8図



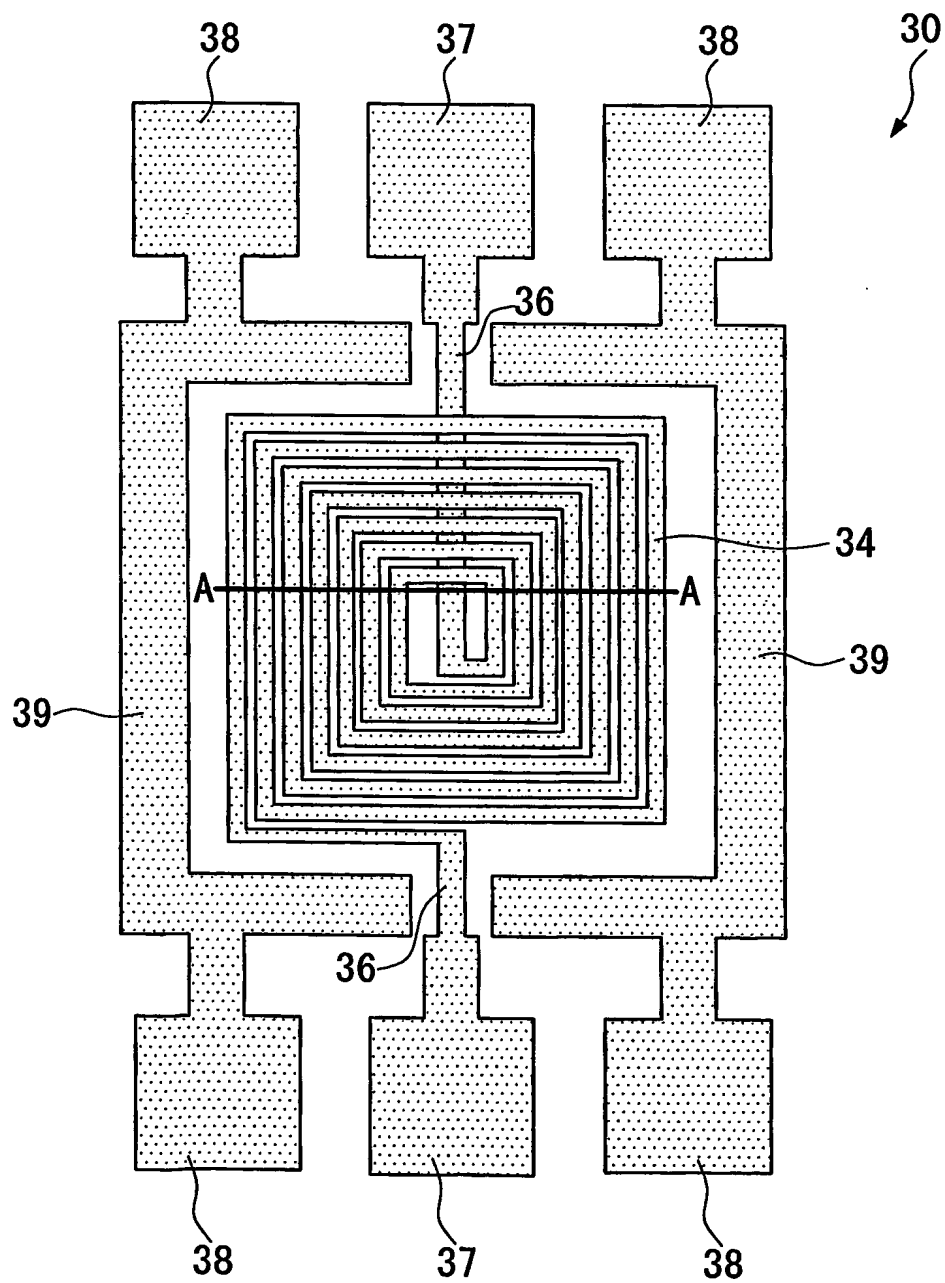
7/14

第9図



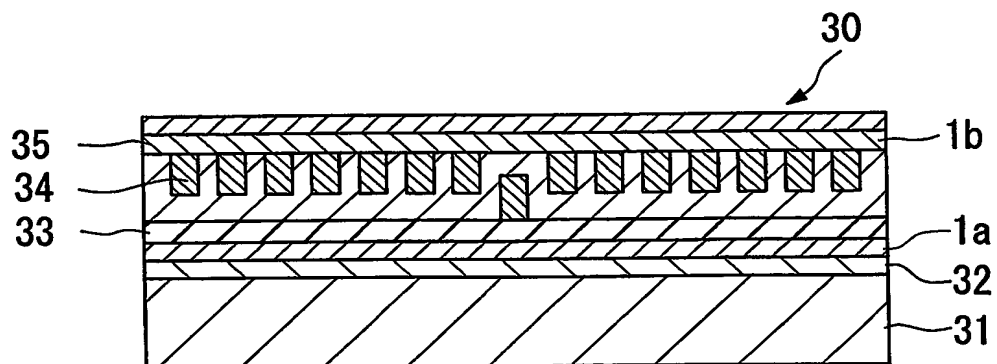
8/14

第10図



9/14

第11図



10/14

## 第12図

	T-L組成物層5		Co系非結晶質合金層3		高抵抗層7		磁性薄膜構成
	膜組成	厚さ T1 (nm)	膜組成	厚さ T2 (nm)	膜組成	厚さ T3 (nm)	
実施例 1	FeC	1.0	CoZrNb	1.0	FeCoAlO	1.0	[[ (1.0nm CoZrNb/1.0nm FeC) × 2 ] + (1.0nm FeCoAlO)] × 100
実施例 2	FeC	1.5	CoZrNb	1.5	FeCoAlO	1.0	[[ (1.5nm CoZrNb/1.5nm FeC) × 3 ] + (1.0nm FeCoAlO)] × 50
実施例 3	FeC	5.0	CoZrNb	20.0	FeCoAlO	2.0	(20.0nm CoZrNb/5.0nm FeC/2.0nm FeCoAlO) × 18
実施例 4	FeC	50.0	CoZrNb	20.0	FeCoAlO	5.0	(20.0nm CoZrNb/50.0nm FeC/5.0nm FeCoAlO) × 7
実施例 5	FeC	1.0	CoZrNb	1.0	SiO <sub>2</sub>	1.0	[[ (1.0nm CoZrNb/1.0nm FeC) × 2 ] + (1.0nm SiO <sub>2</sub> )] × 100
実施例 6	FeC	1.0	CoZrNb	1.0	SiO <sub>2</sub>	1.0	(1.0nm CoZrNb/1.0nm FeC/1.0nm SiO <sub>2</sub> ) × 100
実施例 7	FeC	50.0	CoZrNb	20.0	SiO <sub>2</sub>	5.0	(20.0nm CoZrNb/50.0nm FeC/5.0nm SiO <sub>2</sub> ) × 7
実施例 8	FeC	1.0	CoZrNb	1.0	自然酸化膜	1.0	[[ (1.0nm CoZrNb/1.0nm FeC) × 2 ] + (1.0nm 自然酸化膜) × 100
比較例 1	Fe	1.0	CoZrNb	1.0	—		(1.0nm CoZrNb/1.0nm Fe) × 250

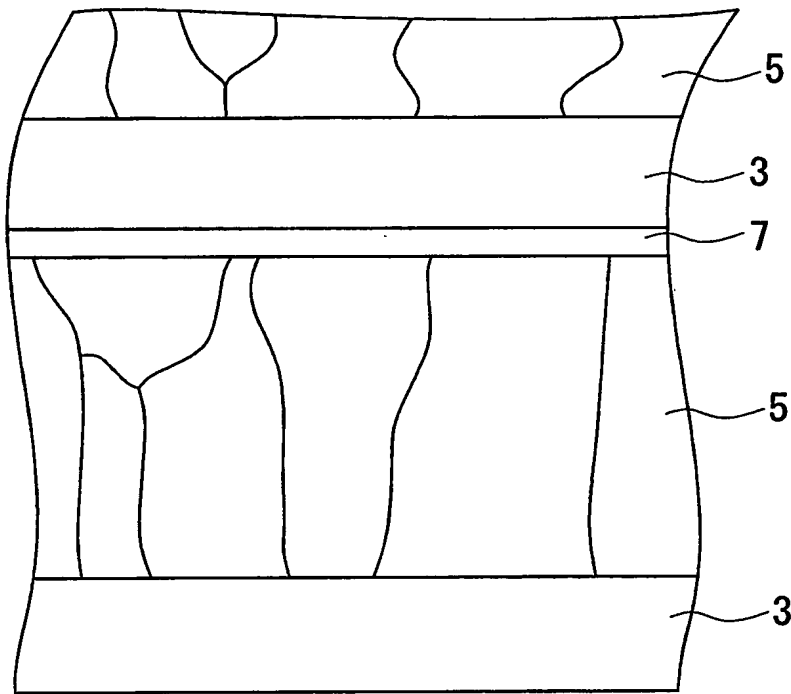


11/14

## 第13図

	T1/T2	高抵抗層が占める比率 (vol%)	磁気特性		高周波透磁率特性				比抵抗 ( $\mu\Omega\text{cm}$ )
			飽和磁化 (T)	保磁力Hce (Oe)	共鳴 周波数 (GHz)	$\mu'$ (at 1GHz)	$\mu''$ (at 1GHz)	Q (at 1GHz)	
実施例 1	1.00	20.00	1.45	0.8	$\gg 2.0$	450	15	30	280
実施例 2	1.00	10.00	1.50	1.0	$\gg 2.0$	500	20	25	240
実施例 3	0.25	7.41	1.45	1.3	$\gg 2.0$	490	25	20	230
実施例 4	2.50	6.67	1.55	1.5	$\gg 2.0$	420	20	21	210
実施例 5	1.00	20.00	1.43	0.9	$\gg 2.0$	450	12	37	350
実施例 6	1.00	33.30	1.40	1.0	$\gg 2.0$	400	10	40	500
実施例 7	2.50	6.67	1.45	1.8	$\gg 2.0$	405	20	20	300
実施例 8	1.00	20.00	1.45	0.9	$\gg 2.0$	450	12	37	350
比較例 1	—	—	2.07	4.2	—	150	—	—	70

第14図



13/14

## 第15図

	磁性薄膜構成	磁気特性		高周波透磁率特性				比抵抗 ( $\mu\Omega\text{cm}$ )
		飽和磁化 (T)	保磁力H <sub>ce</sub> (Oe)	共振 周波数 (GHz)	$\mu'$ (at 1GHz)	$\mu''$ (at 1GHz)	Q (at 1GHz)	
実施例 9	[[ (1.0nm CoZrNb/1.0 nmFeB) × 2]+ (1.0nm FeCoAlO) ] × 100	1.46	0.9	>>2.0	420	20	21	270
実施例 10	(20.0nm CoZrNb/5.0nm FeB/2.0nm FeCoAlO) × 18	1.52	1.1	>>2.0	450	15	30	220
実施例 11	[[ (1.0nm CoZrNb/1.0nm FeB) × 2]+ (1.0nm SiO <sub>2</sub> ) ] × 100	1.43	1.0	>>2.0	450	14	30	350
実施例 12	(20.0nm CoZrNb/50.0nm FeB/5.0nm SiO <sub>2</sub> ) × 7	1.45	1.8	>>2.0	380	20	19	340
実施例 13	[[ (1.0nm CoZrNb/1.0nm FeBN) × 2]+ (1.0nm FeCoAlO) ] × 100	1.51	1.3	>>2.0	320	15	21	280
実施例 14	[[ (1.0nm CoZrNb/1.0nm FeBC) × 2]+ (1.0nm FeCoAlO) ] × 100	1.46	0.8	>>2.0	440	20	22	280
実施例 15	[[ (1.0nm CoZrNb/1.0nm FeCN) × 2]+ (1.0nm FeCoAlO) ] × 100	1.50	1.4	>>2.0	350	20	17	270

14/14

第16図

	磁性薄膜構成	磁気特性		高周波透磁率特性				比抵抗 ( $\mu\Omega\text{cm}$ )
		飽和磁化 (T)	保磁力H <sub>ce</sub> (Oe)	共振 周波数 (GHz)	$\mu'$ (at 1GHz)	$\mu''$ (at 1GHz)	Q (at 1GHz)	
実施例 16	[(1.0nm CoZrNb/1.0nm FeCoC) × 2] + (1.0nm FeCoAlO) × 100	1.61	1.2	>>2.0	400	20	20	270
実施例 17	[(1.0nm CoZrNb/1.0nm FeCoB) × 2] + (1.0nm FeCoAlO) × 100	1.60	1.4	>>2.0	350	20	17	270
実施例 18	(20.0nm CoZrNb/5.0nm FeCoC/2.0nm FeCoAlO) × 18	1.62	1.5	>>2.0	360	25	14	220
実施例 19	(20.0nm CoZrNb/5.0nm FeCoB/2.0nm FeCoAlO) × 18	1.61	1.7	>>2.0	320	20	16	220
実施例 20	[(1.0nm CoZrNb/1.0nm FeCoC) × 2] + (1.0nm SiO <sub>2</sub> ) × 100	1.63	1.6	>>2.0	400	15	26	340
実施例 21	[(1.0nm CoZrNb/1.0nm FeCoB) × 2] + (1.0nm SiO <sub>2</sub> ) × 100	1.62	1.8	>>2.0	380	15	25	340
実施例 22	(20.0nm CoZrNb/50.0nm FeCoC/5.0nm SiO <sub>2</sub> ) × 7	1.65	2.5	>>2.0	300	25	12	300
実施例 23	(20.0nm CoZrNb/50.0nm FeCoB/5.0nm SiO <sub>2</sub> ) × 7	1.64	2.7	>>2.0	280	25	11	300
実施例 24	[(1.0nm CoZrNb/1.0nm FeCoBN) × 2] + (1.0nm FeCoAlO) × 100	1.62	1.2	>>2.0	400	25	16	260
実施例 25	[(1.0nm CoZrNb/1.0nm FeCoBC) × 2] + (1.0nm FeCoAlO) × 100	1.60	1.4	>>2.0	380	25	15	250
実施例 26	[(1.0nm CoZrNb/1.0nm FeCoCN) × 2] + (1.0nm FeCoAlO) × 100	1.63	1.3	>>2.0	350	22	16	260

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/16458

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> H01F10/16, 10/13, 17/04, 17/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> H01F10/16, 10/13, 17/04, 17/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 6-69032 A (Mitsubishi Electric Corp.), 11 March, 1994 (11.03.94), Full text; all drawings (Family: none)	1-22
Y	JP 5-55035 A (Alps Electric Co., Ltd.), 05 March, 1993 (05.03.93), Full text; all drawings (Family: none)	1-22
Y	JP 60-128605 A (Hitachi, Ltd.), 09 July, 1985 (09.07.85), Full text; all drawings & DE 3480571 D & EP 147126 A2 & US 4748089 A1	1-22

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:  
 "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  
 "E" earlier document but published on or after the international filing date  
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)  
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention  
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone  
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art  
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
19 February, 2004 (19.02.04)

Date of mailing of the international search report  
02 March, 2004 (02.03.04)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/16458

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 9-63844 A (Toshiba Corp.), 07 March, 1997 (07.03.97), Full text; all drawings (Family: none)	1-22
Y	JP 6-132128 A (Mitsubishi Rayon Co., Ltd.), 13 May, 1994 (13.05.94), Par. Nos. [0003], [0010], [0011] (Family: none)	1-22
Y	JP 2000-54083 A (Alps Electric Co., Ltd.), 22 February, 2000 (22.02.00), Claims; Par. Nos. [0026], [0027] (Family: none)	1-22
Y	JP 59-130408 A (Hitachi, Ltd.), 27 July, 1984 (27.07.84), Page 2, lower right column, line 6 to page 3, upper left column, line 4 & DE 3485393 A & EP 114076 A2 & US 4610935 A1	13
Y	JP 10-189322 A (TDK Corp.), 21 July, 1998 (21.07.98), Par. Nos. [0017], [0018]	8,14,20
Y	JP 10-241938 A (The Research Institute for Electric and Magnetic Materials), 11 September, 1998 (11.09.98), Par. No. [0016]	8,14,20
A	JP 2000-252121 A (Alps Electric Co., Ltd.), 14 September, 2000 (14.09.00), Full text; all drawings (Family: none)	1-22

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H01F 10/16, 10/13, 17/04, 17/00

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H01F 10/16, 10/13, 17/04, 17/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2004年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2004年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 6-69032 A (三菱電機株式会社) 1994. 03. 11, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-22
Y	JP 5-55035 A (アルプス電気株式会社) 1993. 03. 05, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-22
Y	JP 60-128605 A (株式会社日立製作所) 1985. 07. 09, 全文, 全図 & DE 3480571 D & EP 147126 A2 & US 4748089 A1	1-22

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

19. 02. 2004

国際調査報告の発送日

02. 3. 2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
 郵便番号 100-8915  
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

山田 正文

5 R

8835

電話番号 03-3581-1101 内線 3565

C (続き). 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 9-63844 A (株式会社東芝) 1997. 03. 07, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-22
Y	JP 6-132128 A (三菱レイヨン株式会社) 1994. 05. 13, 【0003】、【0010】、【0011】 (ファミリーなし)	1-22
Y	JP 2000-54083 A (アルプス電気株式会社) 2000. 02. 22, 【特許請求の範囲】、【0026】、【0027】 (ファミリーなし)	1-22
Y	JP 59-130408 A (株式会社日立製作所) 1984. 07. 27, 第2頁右下欄第6行~第3頁左上欄第4行 & DE 3485393 A & EP 114076 A2 & US 4610935 A1	13
Y	JP 10-189322 A (ティーディーケー株式会社) 1998. 07. 21, 【0017】、【0018】	8, 14, 20
Y	JP 10-241938 A (財団法人電気磁気材料研究所) 1998. 09. 11, 【0016】	8, 14, 20
A	JP 2000-252121 A (アルプス電気株式会社) 2000. 09. 14, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-22